

MAANMITTAUSTEKNIikka OSANA ARKEOLOGISTA TUTKIMUSTA JA KENTTÄTYÖTÄ

Lehtonen Markus

Opinnäytetyö
Maanmittaustekniikka
Insinööri (AMK)

2020

Maanmittaustekniikka
Insinööri (AMK)

Tekijä	Markus Lehtonen	Vuosi	2020
Ohjaaja	Teuvo Heimonen		
Toimeksiantaja	Lapin ammattikorkeakoulu		
Työn nimi	Maanmittaustekniikka osana arkeologista tutkimusta ja kenttätöitä		
Sivu- ja liitesivumäärä	49 + 1		

Opinnäytetyössä tarkasteltiin maanmittauksen hyötyjä arkeologisessa tutkimuksessa ja kenttätöissä. Tavoitteena oli selvittää, mitä menetelmiä voidaan hyödyntää ja miten niitä hyödynnetään. Opinnäytetyön lähtökohta oli oma kiinnostus menneisyyttä ja sen tutkimista harjoittavaa arkeologiaa kohtaan. Tarkoituksena oli antaa näkemys maanmittausalan monipuolisuudesta ja herättää ajatuksia arkeologien keskuudessa näistä hyödyistä.

Opinnäytetyössä esiteltiin eri maanmittaustekniikan menetelmiä perusteineen sekä omassa osiossa esimerkein, miten niitä voidaan käyttää arkeologiassa. Lisäksi opinnäytetyö sisälsi kaksi kenttätöitä, joissa pääsin käyttämään maanmittaustekniikka yhteistyössä Pirkanmaan maakuntamuseon kanssa todetuilla arkeologisilla kohteilla. Tärkeänä osana oli myös esitellä Suomessa toimivia tahoja, jotka hyödyntävät maanmittaustekniikkaa arkeologiassa.

Opinnäytetyössä on hyödynnetty omaa osaamistani ja kerryttämään monipuolista kokemusta eri laitteistoista sekä omia ajatusmalleja, miten näitä tekniikoita käytetään arkeologiseen tutkimukseen. Tekemäni kenttätö on palvellut Pirkanmaan maakuntamuseota lisätiedon keräämisessä sekä eri mittaustekniikoiden oppimisessa. Maanmittauksen hyödyt osoittautuivat kiistattomiksi tämän opinnäytetyön avulla.

Avainsanat arkeologia, laserkeilaus, maatutkaus, takymetrimittaus, pistepilvi

Technology, Communication and Transport
Degree Programme in Land Surveying
Bachelor of Engineering

Author	Markus Lehtonen	Year	2020
Supervisor	Teuvo Heimonen		
Commissioned by	Lapland University of Applied Sciences		
Subject of thesis	Land Surveying Engineering as Part of Archaeological Research		
Number of pages	49 + 1		

The objective of the thesis was to discuss land surveying in an archaeological research. Another aim was to explain how land surveying could be used in an archaeological research. An important part was to do land surveying in a known archaeological site.

In the thesis one method was conducting interviews with some of the most important operators in Finland who use land surveying engineering in their research. In the fieldwork that was done by using a total station that included built-in laser scanning.

Information was gathered mostly from the Internet. The thesis provided a good review of archaeological surveying methods and the benefits. Interviews with some of the top professionals gave a good example from the field. The fieldwork benefited the employees at the Pirkanmaa Regional Museum.

Key words archaeology, land scanning, ground penetrating radar,
total station, point cloud

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	7
2 MAANMITTAUSTEKNIIKAN VÄLINEET.....	8
2.1 Johdatus	8
2.2 Takymetri	8
2.3 Satelliittipaikannus eli GPS	10
2.4 Laserkeilain.....	12
2.5 Maatutka	13
2.6 Luotaustekniikat.....	14
2.7 Käsiskanneri, metallinpaljastin, UAV.....	16
2.8 Maanmittausalan ohjelmistot	17
3 MAANMITTAUSTEKNIIKAN HYÖDYT JA POTENTIAALI ARKEOLOGIASSA	
20	
3.1 Takymetri ja GPS.....	20
3.2 Laserkeilain.....	21
3.3 Maatutka	23
3.4 Viistokaikuluotain	25
3.5 UAV ja Lidar.....	26
4 YHTEISTYÖKUMPPANIT.....	30
4.1 Johdatus	30
4.2 Muuritutkimus.....	30
4.3 Nordic Maritime Group.....	32
4.4 Museoviraston Arkeologiset kenttäpalvelut.....	34
4.5 Pirkanmaan maakuntamuseo	34
5 KENTTÄTYÖT	36
5.1 Johdatus	36
5.2 Laserkeilaus Reuharinniemen lapinraunioilla.....	36
5.2.1 Alustus kenttätöihin	36
5.2.2 Kenttätyöpäivä.....	37
5.2.3 Aineiston käsittely.....	40
5.3 Maatutkaus Museokeskus Vapriikissa	42
6 POHDINTA	45

LÄHTEET.....	47
LIITTEET.....	50

ALKUSANAT

Haluan kiittää Pirkanmaan maakuntamuseota ja koko henkilöstöä, erityisesti arkeologi Vadim Adelia, Kirsi Luotoa sekä yksikön päällikköä Tuija-Liisa Soinista, mahdollisuudesta toteuttaa opinnäytetyötä heidän kanssaan. Innostus aiheeseen oli molemmin puoleinen. Haluan kiittää myös Muuritutkimuksen Kari Uotilaa ja Maija Helamaata mahdollisuudesta vierailla heidän toimistollaan ja saada aikaiseksi haastattelu. Kiitos myös Nordic Maritime Groupin Maija Huttuselle, joka vastasi kysymyksiini koskien yritystä ja sen toimintaa, sekä erityiskiitos hänen toisen yrityksensä oheistuotteistaan. Kiitän myös Museoviraston Arkeologisten kenttäpalveluiden Tuija Väisästä, joka jaksoi kirjoittaa sähköpostihaastatteluun erittäin kattavat vastaukset. Hän todellakin panosti viesteihin ja vastauksiin.

Kiitän erityisesti Koulutuskuntayhtymä Tavastiaa, jossa opiskelin maanmittaustekniikan perustutkinnon. Kiitos opettajille Antti Iso-Pietilälle sekä Pasi Henrikssonille mahdollisuudesta toteuttaa kenttätöitä. Kiitos myös oppilaille Visa Saloselle ja Benjamin Karvoselle ahkerasta avusta kenttätöissä. Kiitos myös ohjaajalleni Teuvo Heimoselle kommentteista ja kannustuksesta viedä tätä työtä eteenpäin.

Suurin kiitos kuuluu avopuolisolleni, joka kannusti ja tuki koko opiskeluprosessin aikana, sekä uskoi tähän projektiin.

1 JOHDANTO

Menneisyyden tutkiminen ja ihmisten elämän pohtiminen historiallisella ja esihistoriallisella ajalla kiehtoo varmasti meitä jokaista. Minkälainen yhteiskunta on vallinnut, kun hautaustapana on ollut kiviröykkiöiden kaltaiset menetelmät? Voiko löytöjen kontekstilla saada selville asuinpaikan eri toimintojen, kuten ruoanlaiton sijainnin? Entä voidaanko saada selville kaiverruksia ja niiden avulla taas ajatusmalleja menneisyyden ihmisistä? Näitä kaikkia pohtii ammatiltaan arkeologi. Nykyajan tutkimuksessa, näissäkin esimerkeissä, maanmittaustekniikka on oleellinen osa arkeologin työvälineistöä.

Maanmittaustekniikan välineitä on käytetty arkeologiassa jo vuosikymmeniä, ja niiden tärkeyttä ei voida kiistää. Ne antavat tarkalla positiotiedolla oleellista tietoa kaivausdokumentoinnin menetelmiin. Niin perinteiset kuin uudetkin maanmittausvälineet ovat osana Suomessa toimivaa menneisyyden tutkimista eri tahojen toimesta. Arkeologiassa pyritään seuraamaan maanmittauksen kehitystä, sillä sielläkin on otettu käyttöön vaaituskojeiden sijasta tarkkoja GPS-laitteita sekä takymetrejä ja jopa laserkeilaimia.

Opinnäytetyössä pyrin selvittämään, mitä kaikkea laitteistoa voidaan hyödyntää ja miten sitä voidaan hyödyntää. Miten mittauslaitteiden avulla saatuja mittaustuloksia tulkitaan, on myös osana opinnäytetyötä. Tarkoitukseni on näin saada ytimekäs tiivistelmä maanmittauksen tilasta arkeologien keskuudessa ja sen lisäksi avata niille tahoille mahdollisuuksia, jotka pohtivat kalliiden maanmittausvälineiden hankkimista. Opinnäytetyö ei jää vain pohdinnaksi, sillä se sisältää myös yhden laajemman laserkeilauksella mitatun muinaisjäännöksen sekä omia pohdintoja toimeksiannon avustuksella.

2 MAANMITTAUSTEKNIIKAN VÄLINEET

2.1 Johdatus

Tässä kappaleessa käydään läpi opinnäytetyössä käytettäviä maanmittausvälineitä. Kappaleessa avataan lukijalle perustoimintoja sekä perustermistöä, mutta tarkemmat ja tekniset kuvaukset jäävät vähemmälle. Koska opinnäytetyössä on tarkoitus myös olla käytännön testejä, tarkoittaa tämä myös sitä, että jo vanhaksi todetut maanmittausmenetelmän, kuten kulmaprismat ja teodoliitit eivät sisälly tähän kappaleeseen eikä koko opinnäytetööhön.

2.2 Takymetri

Takymetrejä nykyisessä muodossaan, jolla pystyi tallentamaan mittaustietoa, on ollut markkinoilla jo 40 vuoden ajan. Toki niin kuin muukin teknologia keskuudessamme, myös takymetri on kehittynyt todella paljon. Myös laitevalmistajien valikoima on viimeisen kymmenen vuoden ajan kehittynyt ajasta, jolloin oli vain yhdentyyppisiä, perusominaisuuksiltaan samankaltaisia takymetrejä nykyhetkeen. Nykyään on tarjolla yhdellä laitevalmistajalla jopa kymmeniä eri mallisia ja eri tarkoituksiin. Tällaisia kohteita ovat muun muassa rakennustyömaat, teollisuus tai kohteet, jotka vaativat 3D-skannaamista luoden miljoonia pisteitä. (Wikman 2010, 19.)

Takymetrin perustarkoitus on mitata etäisyyksiä sekä pysty- ja vaakasuoria kulmia. Takymetri on todella tarkka, millimetrin tarkkuudella operoiva laite. Mittaustyyplejä on erilaisia, kuten prismaton etäisyydenmittaus tai automaattinen prismantunnistus. Nykyisin takymetri voi olla niin sanottu robottitakymetri. Tämä tarkoittaa sitä, että ei ole enää välttämätöntä olla kahta mittaajaa tekemässä samaa työtä; toinen olisi takymetrillä tallentamassa prismamiehen osoittamia paikkoja. Robottitakymetrillä voi siis tallentimen irrottaa niin sanotusta rungosta, jolloin tallennin on ikään kuin etäohjauskäytössä. (Laurila 2012, 237–238, 251.)

Automaattinen prismantunnistus on varmastikin yleisin, sekä markkinoilla halutuin ominaisuus. Tämä tarkoittaa sitä, että manuaalisesti käyttäjän ei tarvitse etsiä prismaa, vaan mittauskoje tunnistaa prisman automaattisesti eri

hakutoimintoja apuna käyttäen. Tällaisia aputoimintoja käyttäjälle on muun muassa etäohjaus suunnilleen sinne kohti, jossa mittaaja on, tai sitten videokuvan perusteella etsittävä ja kohdistettava prisman tunnistus. Automaattisessa prismatunnistuksessa on kaksi eri menetelmää, joista ensimmäinen on aktiivinen menetelmä. Tämä tarkoittaa, että prisman hakemisessa käytetään apulaitetta. Yleisimmin se on integroitu prismaan ja toimii radiopuhelimen tavoin sisältäen eri kanavia. Tällä poistetaan mahdolliset sekaannukset, mikäli työmaalla on useita saman valmistajan laitteistoja. Kanavalla voidaan siis yksilöidä takymetrin ja prisman kanssakäyminen. Passiivisessa menetelmässä takymetriltä tulee näkymätön säde kohti prismaa. Kun säde osuu prismaan, se lähtee takaisin takymetrille tähtäyskaukoputkeen. Takymetrin sisällä oleva mekanismi laskee sijaintipoikkeaman. (Wikman 2010, 19–20.)

On olemassa myös prismaton etäisyyden mittaaminen. Näitäkin on kaksi erilaista tyyliä: ensimmäinen perustuu lähtevän ja palaavan signaalin vaihe-eron mittaamiseen, ja toisessa mitataan signaalin kuluaikaa kohteeseen ja siitä takaisin takymetriin. Vaihe-eron mittaamisessa on käytössä näkyvä lasersäde, joka on väriltään punainen, ja sitä voidaan helposti silmämääräisesti kohdistaa esimerkiksi seinäpintaa myöden, mitaten sokkelin korkeutta tai katulamppujen sijainteja. Toisessa mittaustyyliässä lasersäde on näkymätön. (Wikman 2010, 19.)

Mittaamisen valmistelu tapahtuu siten, että irrallisella rasiatasaimella tasataan takymetri vesikuplan ja elektronisen tasaimen avulla. Tämän jälkeen laitteelle syötetään tarvittavat tiedot prismakorkeudesta ja mitattavista apupisteistä. Yleinen menetelmä, miten takymetri saadaan koordinaatistoon, on niin kutsuttu vapaa asemapistepiste. Takymetrin alapuolella maassa ei ole koordinaateiltaan tunnettua pistettä. Kojeelle on syötetty vähintään kaksi tunnettua pistettä, joihin takymetrillä tähdätään ja mitataan. Tähtäyksen ja mittauksen jälkeen takymetri laskee itsensä omalle paikalleen ja tekee korjausvirhelaskennat, joita syntyy aina muutaman millin, tai jos satelliittipaikannuksella tehdään reaaliaikaisesti apupisteet niin korjauslukema voi olla sentinkin. Tätä kutsutaan orientoinniksi, ja kun se on suoritettu, niin kone on käyttövalmis mittaamiselle.

2.3 Satelliittipaikannus eli GPS

Satelliittipaikannus on taivaalle laukaistujen satelliittien avulla selvitettävä sijainti. Yleisesti puhekielessä puhutaan GPS-laitteista, mutta GPS on lyhenne amerikkalaisesta Global Positioning System -järjestelmästä. Venäläisillä on oma Glonass-järjestelmänsä.

Maanmittauksessa käytettävissä satelliittipaikannuslaitteissa näitä käytetään yhdessä, ja terminä käytetään GNSS (Global Navigation Satellite System). Eurooppa sekä Kiina ovat laukaisseet jo omat satelliitit, ja niitä saadaankin maanmittauslaitteisiin maahantuojiin avulla lisämaksua vastaan. Käytännössä se tarkoittaa sitä, että mitä enemmän satelliitteja, sitä tarkempi mittaus. (Laurila 2012, 278–282.)

GPS on alun perin tarkoitettu Yhdysvaltain sotilaskäyttöön, mutta se on avattu myös siviilikäyttöön. Kehitystyö ja valvonta tapahtuu Yhdysvalloissa. Tavallisesti GPS-tarkkuus on metrin tai metrien luokkaa. Järjestelmän avulla sitä käyttävä henkilö pystyy paikantamaan itsensä vuodenajasta ja vuorokaudenajasta riippumatta. GPS-satelliitit ovat olleet erinomaisessa asemassa verrattuna venäläisiin Glonasseihin. Käyttöikä on paljon pidempi sekä lukumäärä on suurempi. Kuitenkin mittaajan kannalta näiden yhteiskäyttö on tärkeää. (Laurila 2012, 282–290.)

Peruseriaate satelliittipaikannuksessa on se, että käyttäjän laite havaitsee satelliitin lähettämiä signaaleja. Vähimmäismäärä sijainnin määrittämiseen on kolme satelliittia. Näin pystytään määrittämään etäisyyksien avulla käyttäjän sijainti. Satelliitit lähettävät eräänlaisia paikannuskoodeja tai kantoaaltoja. Nämä paikannuskoodit ovat tärkeitä, kun pitää määrittää satelliitin avulla tarkasti paikka. (Laurila 2012, 292.)

Satelliittipaikannuksessa on kolme perusmittaustapaa. Ensimmäinen on absoluuttinen paikannus eli navigointi. Tämä on peruskäyttäjän tapa saada sijainti selville esimerkiksi harrastuksissa tai joissakin ammateissa. Tarkkuus on alle kymmenen metriä. Toinen tapa on differentiaalinen paikannus (DGNSS).

Tässä on aseteltuna niin sanotulle tunnetulle pisteelle tukiasema. Tukiasema mittaa käyttäjän havaintopaikan sekä etäisyyden, jota verrataan koordinaatteihin. Paikannustarkkuus on puolesta metristä viiteen metriin. DGNSS-paikannuksessa Suomessa on tukiasemien suhteen asema erittäin hyvä. Suomessa maanmittauslaitteiden valmistajat ja maahantuojat ovat kehittäneet omat tukiverkostonsa. Käytetyimmän ovat Geotrimin VRS-tukipalvelu (Virtual Reference Station) ja Leican SmartNet. Kolmas tapa on vaihehavaintoihin perustuva suhteellinen mittaus. Siinä havaintosuureena on kantoaalto, ja jo siten se eroaa kahdesta ensimmäisestä. Mittausteknisesti se eroaa myös siten, että vastaanottimen sijainti mitataan toiseen vastaanottimeen. Yleisesti maanmittaajan laite tekeekin virtuaalisen aseman. Näitä kahta asemaa vertaillen saadaan alle sentin tarkkuudella sijainti. (Laurila 2012, 298–302.)

RTK-mittaus tulee sanoista Real Time Kinematics. Aikaisemmin perinteisesti RTK-mittauksessa piti perustaa tukiasema tunnetulle pisteelle, esimerkiksi kolmijalan päälle, mutta nykyään virtuaaliasemapalvelujen laajentuessa sitä tekniikkaa ei enää hyödynnetä. RTK-mittauksessa tukiaseman ja paikannuslaitteen välillä on oltava toimiva tiedonsiirtoyhteys, sillä tukiasema lähettää mittaamansa vaihehavainnot paikannuslaitteelle. Laite ratkaisee reaaliajassa kaikki suureet paikannuksen saamiseksi. Nykyään kehittyneempi versio on siis VRS-palvelun yhdistäminen RTK-mittaukseen. Esimerkiksi Trimblen VRS-palvelu tarkoittaa käytännössä sitä, että mittaajan paikannusvälineistö lähettää likimääräisen sijaintinsa laskentakeskukselle, jonne kerätään myös tietoa kiinteiltä tukiasemilta. Laskentakeskus tällöin prosessoi tämän saadun tiedon ja tekee korjauslaskennan suoraan mittaajalle maastoon. (Laurila 2012, 320–321.)

Satelliittipaikannuksen avulla ammattimainen mittaaminen ei kuitenkaan ole aukotonta. Sitä häiritsevät muun muassa satelliittien epäsuotuisat liikeradat aina tiettyyn päivän aikaan nähden. Nämä voidaan toki tarkistaa etukäteen erilaisilla tietokoneohjelmilla, milloin olisi paras ”satelliittisää” mitata. Myös korkeat esteet kuten kerrostalot tai metsä estävät parhaan mittaustuloksen saamisen. Joskus myös vesi ja muut heijastavat pinnat voivat myös osaltaan olla häiriötekijöitä ja vaikuttaa negatiivisesti mittaustulokseen.

2.4 Laserkeilain

Laserkeilaimella on mittausperiaate hyvin samankaltainen, kuin takymetrimittauksissa mainittu prismaton mittaus. Laserkeilain lähettää lasersädettä, joka palautuu pinnoista takaisin laitteelle. Tällaisilla laitteistoilla ei siis ole mahdollista nähdä objektien taakse, eli esimerkiksi puiden taakse jää mittaamatonta tietoa.

Perusperiaate on siis se, että mittaus perustuu valon kulkuaikaan. Valosignaali kulkee kohteeseen ja takaisin laitteelle, ja tuo valon kulkemisen aika on etäisyys kohteeseen. Näin ollen, kun tiedossa on lasersäteen lähtökojeen sijainti kulmineen ja matka kohteeseen, voidaan siis laskea tarkat koordinaatit pisteelle. Mittaustiheys on moninkertainen takymetrin perusmittaukseen. Laserkeilaimella voidaan muutamassa minuutissa kerätä useiden miljoonien pisteiden pistepilvi. (Joala 2006, 1.)

Perinteisesti laserkeilaimet jaetaan kolmeen pääluokkaan. Ensimmäisessä luokassa on niin sanotut kaukokartoituslaitteet, ja niitä käytetään pääsääntöisesti lentokoneista sekä helikoptereista. Myös joitakin avaruusaluksellisia kaukokartoitusmenetelmiä on kehitetty. Mittausetäisyys liikkuu sadan metrin ja sadan kilometrin välillä. Koska etäisyys on noinkin suuri maanpintaan nähden, mittaustarkkuus on joitakin senttimetrejä. Kaukokartoitukseen tarkoitettujen laitteistojen pääasialliset kohteet ovat suuren luokan kartoitusalueet esimerkiksi puuston kunnon arviointia varten. Toinen luokka on laserkeilaimet, joita käytetään teollisuudessa. Niiden tarkkuus on alle millimetrin ja etäisyys on alle 30 metriä. Tällaisia kohteita, joissa tarvitaan teollisuudessa käytettäviä laserkeilaimia, ovat esimerkiksi hyvin tarkkaan mallinnettavia koneiston osia, joita keilaamalla saadaan tarkat mitat ja kulmat niiden massatuotantoon. (Joala 2006, 1.)

Kolmas pääluokka on maalaserkeilaimet, toisin sanoen terrestriaaliset laserkeilaimet. Mittaustarkkuus on alle kaksi senttimetriä mittausetäisyyden liikkua metristä 300 metriin. Tällaiset laserkeilaimet alkavat olemaan jo hyvin yleisiä pk-yrityksissä, joiden liiketoimi perustuu maanmittaukseen. Tyypillisimpiä kohteita tämänkaltaisille laserkeilaimille on esimerkiksi saneerauskohteet. Laserkeilaimella saadaan mitattua kaikki kantavat rakenteen eksaktisti oikeaan

paikkaan. Myös massalaskentaan tällaiset laserkeilaimet soveltuvat. Arkeologiassa laserkeilaimilla voidaan rekonstruoida suojeltuja rakennuksia tai maanpinnan muotoja, kuten pyyntikuoppia. (Joala 2006, 1–2.)

Laserkeilaimella mitatessa on muistettava, että vaikka itse maastokäynti saattaa olla nopeakin, ohi jo muutamassa tunnissa, niin tietokoneella tehtävä työ saattaa olla hyvinkin kaksinkertainen. Isoja tiedostokokoja on prosessoitava ja tämän hetken tietokoneohjelmat pistepilville osaavat automatiikalla yhdistellä eri koneasemilta otettuja pistepilviä. Tähän automatiikkaan kuluu myös paljon aikaa. Jos on kyseessä korjausrakentamiseen lähtöaineistoa, se tarvitsee myös piirtää puhtaaksi CAD-ohjelmilla tilaajalle.

2.5 Maatutka

Maatutka laitteistona käsittää lähettimen, vastaanottimen sekä joko integroidun tietokoneen tai ohjelmiston vaikkapa tablettitietokoneella. Maatutkausta tehdessä maatutka lähettää pienen energiapulssin maan sisään. Pulssi palautuu laitteelle takaisin tallentaen tietoa läpikäydyistä materiaalista. Vahvuus ja palautumiseen kulunut aika määrittelee sen, mitä maan sisälle on piilotettuna. Sähkönjohtavuus on avainasiassa, kun yritetään maatutkauksen avulla selvittää materiaaleja. Tutka havaitsee maan sisässä olevia kerroksellisia muutoksia. Käytännössä suuri sähkönjohtavuus vaimentaa signaalia. Maatutkaluotauksessa käytettävät sähkömagneettiset aallot ovat taajuudeltaan 1-1000 MHz. Näiden arvojen ulkopuolella havainnot eivät enää ole luotettavia, ja saattavat olla jopa käyttökelvottomia. (Saari 2015, 9–11.)

Maa-aines on harvoin täysin dielektrinen, eli sähköä johtamaton. Todellisuudessa maa-aines sisältää aina joitakin sähkövarauksen kuljettajia, kuten ioneja tai johde-elektroneja. Maamateriaali voidaan jakaa varaustyypeiltään neljään eri ryhmään: metalliset johteet, kiteiset liuokset, puolijohteet ja elektrolyytit. Ionit toimivat vapaina varauksina kiteisissä liuoksissa sekä elektrolyyteissä, kun taas elektronit metallisissa johteissa ja puolijohteissa. Yksi tärkeimmistä puolijohteista on pii. Elektrolyyttejä maaperässä ovat muun muassa natrium, jota löytyy maasälvästä. Vesi liuottaa ionisia aineita, ja tällä tavoin veden sähkönjohtavuus

kasvaa. Vettä esiintyy lähes poikkeuksetta aina maa-aineksessa, eli tutkittavissa kerroksissa. (Saari 2015, 13–14.)

Permittiivisyys on maatutkauksen kannalta tärkein yksittäinen suure. Permittiivisyys kuvaa sitä, miten väliaine vaikuttaa siihen kohdistuvaan sähkökenttään. Toisin sanoen se vaikuttaa sähkömagneettisen aallon etenemisnopeuteen.

2.6 Luotaustekniikat

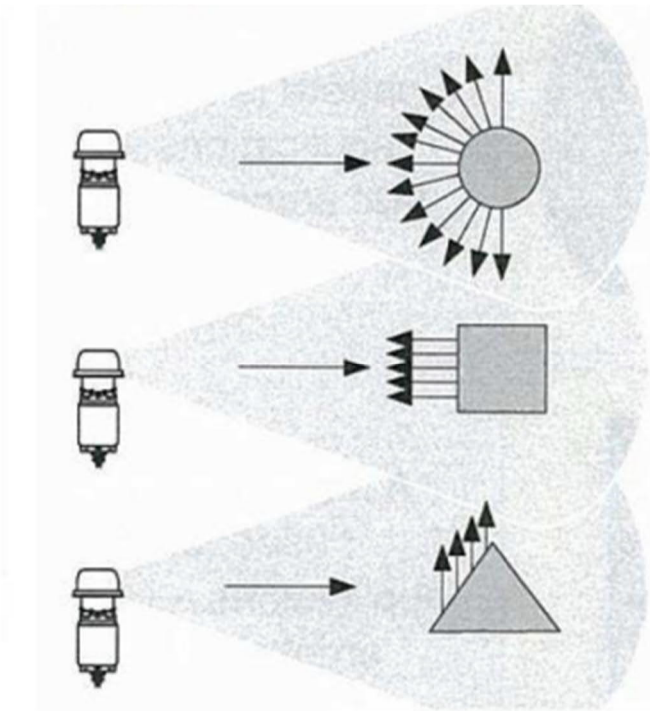
Yleisnimi kaikuluotauksella on sonar. Se tulee englannin kielen sanoista sound navigation and ranging. Perusperiaate on äänisignaalin lähettäminen ja sen vastaanottaminen takaisin. Kun tiedetään aallonpituus ja ääniaallon etenemisaika, saadaan laskettua etäisyys mitattavalle kohteelle. Tällä tavoin saadaan muodostettua visuaalinen kuva kohteesta, jota ollaan luotaamassa. Monikeilain, jota tässä kappaleessa enemmän tarkastellaan, tuottaa viuhkamaisen keilan. (Hänninen & Auer 2015, 3.)

Kaikuluotauksessa on muutama tärkeä tekijä. Niillä on oleellinen vaikutus mittausaineistoon. Ensimmäisenä on äänen etenemisnopeus. Vedessä se on noin 1405 m/s – 1545 m/s. Äänen nopeuteen vaikuttaa vedessä lämpötila, veden suolapitoisuus sekä paine. Mitä syvemmälle mennään, sitä enemmän on painetta. Nuo kolme tekijää noustessaan nopeuttaa äänen etenemistä vedessä. Toinen tekijä on taajuus. Monikeilainlaitteisto lähettää signaalia, ja signaalin taajuudella on suuri merkitys aineistoon ja mittaustuloksiin. Kaikuluotain tuottaa yleisimmin 2-2000 kHz taajuuden. Mitä korkeampi taajuus on, sitä kapeampi äänikeila on ja päinvastoin matalammalla taajuudella äänikeila on laajempi. Taajuudella on myös vaikutusta läpäisevyyteen. (Hänninen & Auer 2015, 3.)

Seuraava vaikuttava tekijä on äänikeilan muoto ja aukeamiskulma. Äänikeila laajenee edetessään. Mittausvirhettä syntyy suhteessa aukeamiskulmaan ja etäisyyteen. Toki voidaan ajatella myös, että äänikeilan laajuus vaikuttaa skannattavan alueen laajuuteen. Jos halutaan 2D-kuvaa, käytetään enemmän viuhkamaista mittaustekniikkaa, kun taas 3D-kuvaan kartiomaista. Akustinen

jalanjälki on neljäs tekijä mikä vaikuttaa tuloksiin. Se tarkoittaa käytännössä sitä aluetta, jonka äänikeila peittää alleen kohteeseen osuessaan. Jos äänikeila on pieni, havainnot ovat tällöin tarkkoja. Myös havaintokulmalla on merkitystä, sillä mitä suurempi kulma niin sitä todennäköisempää on saada hyviä havaintoja. Kohtisuoraan olevat kohteet ovat siis paremmin näkyvissä, kun taas samansuuntaiset ovat vaikeammin havaittavissa. (Hänninen & Auer 2015, 4.)

Viimeinen tärkeä tekijä on itse mitattavan kohteen muoto ja materiaali. Karheat pinnat pystytään havaitsemaan sileitä pintoja paremmin. Pyöreät muodot palauttavat äänisignaalia eri suuntiin, kohtisuorat rakenteet palauttavat parhaiten signaalin, kun taas sileät ja loivat pinnat heijastavat luotaimesta eri suuntaan signaalit (Kuvio 1).



Kuvio 1. Äänikeilan heijastuminen kohteesta (VRT 2015)

Monikeilainaineisto saadaan mitattua yleensä liikkuvasta aluksesta. Laitteisto lähettää yhden äänipulssin, jonka paluuaika kuunnellaan viuhkamaisesti. Tästä tuloksena saadaan yhdellä kerralla satoja havaintoja. Yleisemmin tämän avulla saadaan luotua varsin tarkka pohjatopografia, jolla pystytään tutkimaan eroosion ja laivaliikenteen vaikutusta satamissa. Kun veneeseen on lisäksi kiinnitetty paikannuslaitteisto, liiketunnistimien lasketut korjaukset kallistukseen ja vauhtiin, sekä itse mittausaineisto, saadaan 3D-pistepilvi, jota voidaan tietokoneella

tarkastella. Tämän tiedon avulla monikeilain onkin oiva työkalu myös rakenteiden tarkastukseen, sillä aineistoa saa nopeasti ja tarkasti. Monikeilaimella saavutetaan 5-10 senttimetrin havaintotarkkuus. (Hänninen & Auer 2015, 6–7.)

Viistokaikuluotaimen käyttötarkoitus on muun muassa hylkyjen ja vedenalaisten kohteiden paikantamisessa. Myös pohjan tutkimiseen, vedenalaiseen arkeologiaan sekä biologisiin havaintoihin voidaan käyttää viistokaikuluotaintekniikkaa. Luotainta vedetään veneen perässä tai kyljessä. Kölin alle jää katvealue, josta ei saada havaintoja yhdellä ajolinjalla. Useamman ajolinjan avulla kuitenkin tyhjätkin alueet saadaan kartoitettua. Tarkastettavat kohteet havaitaan varjoina sekä heijastumina. Saatua aineisto on 2D-kuvaa ja muistuttaa ilmakuvaa. (Huttunen 2020.)

2.7 Käsiskanneri, metallinpaljastin, UAV

Tässä kappaleessa tarkoitus on tarkastella lyhemmin muita mahdollisia maanmittauksesta tuttuja menetelmiä, joita voi käyttää myös arkeologiassa.

Käsiskanneri, toisin sanoen handheld 3D-skanneri, tekee pienistä kohteista varsin tarkan 3D-mallin. Tarkkuus on jopa alle millimetrin. Tämä käyttötarkoitus on perustaltaan samankaltainen, kuin laserkeilain. Laite ampuu näkymätöntä sädettä ja tallentaa takaisintulleen säteen, luoden kolmiulotteista mallia. Suomen markkinoilla vastaavan kaltaisia laitteita ei oikein ole vielä ammattikäytössä, sillä se ei ainakaan maanmittauksessa vielä ole mitenkään kehityskelpoinen. Ehkä teollisuudessa sillä saadaan hyvin esineistä lähtötietomallit tarkkaa monistusta varten.

Metallinpaljastin on maanmittauksessa hyvin yleinen työväline. Sillä pystytään etsimään maan alle joutuneita kohteita, kuten umpikantisia kaivoja, metallisia rajapyykkeitä tai kiintopisteitä. Metallinpaljastimen toiminta perustuu metallien ja ympäröivän maan johtavuuseroihin. Lähetin synnyttää sähkömagneettisen kentän, ja se leviää kaikkialle. Metallissa oleviin johteisiin syntyy pieniä pyörrevirtoja silloin, kun kentän voimaviivat läpäisevät johteet. Näin muodostuu omia sähkömagneettisia kenttiä, jotka sitten ylöspäin levitessään osuu

metallinpaljastimeen. Syntyvä jännite muutetaan äänisignaalksi, ja näin ollen saadaan selville metallin sijainti maan alla näkemättä sitä. (Turunen 1990, 3.)

UAV-lennokit ovat yleistyneet tänä päivänä niin paljon, että näistä taloudellista hyötyä saavien yritysten määräkin on noussut. UAV tulee sanoista unmanned aerial vehicle, eli miehittämätön ilma-alus. UAS tarkoittaa puolestaan unmanned aerial station. Jälkimmäinen käsittää myös operoinnin maan tasalla, kun ensiksi mainittu on vain ilmassa lentävä alus. Yleisesti maanmittaajan käytössä olevissa UAV-laitteissa on myös RTK-tarkkuudella (senttimetrin tarkkuus) varustettu paikannusjärjestelmä. Myös käyttöönotto ja itse lentäminen on hieman poikkeavampaa tavalliseen käyttäjään nähden. Ilmakuvasta määritellään tietokoneohjelmilla lentorata, joka sitten syötetään esimerkiksi bluetoothin kautta itse laitteeseen, ja näin paikannuksen avulla kone pystyy itseohjautuvasti lentämään määritellyn alueen. Lennokkeja voidaan käyttää pienten alueiden kartoitukseen, valvontaan kuten maamassojen liikkumiseen, kartoitukseen tai luonnonvarojen etsinnässä. (Jokinen 2014, 2–6.)

UAV-laitteisiin voidaan myös kiinnittää laserkeilain, jolloin puhutaan enemmänkin lidar-tekniikasta. Se tulee sanoista light detection and radar. Lidarin valttikorttina on se, että havainnot etenevät myös puiden oksien läpi, toisin kuin pelkästään kameralla varustetulla lennokilla. Tämä onkin tänä päivänä tuottanut erinomaisia tuloksia Väli-Amerikan tiheissä metsissä, missä on piilossa kadonneiden sivilisaatioiden, kuten mayojen kaupunkeja. Lidar-tekniikalla on siis jo pystytty löytämään useita kohteita tuolta alueelta.

2.8 Maanmittausalan ohjelmistot

Maanmittaustekniikan laitteistolla saadut mittaustiedot pitää aina jollakin tavalla saada esitettyä konkreettiseksi aineistoksi. Toki nykypäivän takymetriin maastotietokoneet sen jo tekevät pintapuolisesti, mutta tietokone on yhtä lailla osa mittaajan työtä kuin itse laitteistokin. Tässä kappaleessa käydään läpi joitakin oleellisia ohjelmia, jotka ovat hyödyllisiä opinnäytetyöni ja arkeologian kannalta.

3D-Win

Lähes kaikki kunnat ja kaupungit Suomessa käyttävät maanmittausaineiston käsittelyssä suomalaista 3D-systemsin kehittämää 3D-Win-nimistä ohjelmistoa. Se on käytössä myös muun muassa Muuritutkimuksella (Helamaa 2019) sekä Museoviraston Arkeologisilla kenttäpalveluilla (Väisänen 2020). Ohjelma lukee maanmittausalalla tavallisimpia tiedostoformaatteja, kuten .xyz ja .gt. Ohjelmistolla voidaan käsitellä samaan aikaan useita vektori- ja rasteritiedostoja. Sillä pystytään piirtämään viivamaisia muotoja mitatuista pisteistä, ja näin ollen luomaan karttaa. Jokaisen mitatun pisteen positio on tiedossa, joten esimerkiksi korkeuslukeman saa helposti selville. Tämä on hyödyllistä arkeologiassa, kun halutaan selvittää esimerkiksi löydön positio suhteessa muihin samankaltaisiin löytöihin. Ohjelmisto on myös erinomainen tiedoston muuntaja. Formaattimuunnoksia on lukuisia. Yksi tärkeä syy, miksi esimerkiksi Muuritutkimus käyttää ohjelmistoa muunnosparametrien lisäksi on koordinaattimuunnosparametrit (Helamaa 2019). Tämän ohjelman avulla kaistajakko ja KKJ-järjestelmän muunnokset toimivat melko yksinkertaisella komennolla. Myös pistepilvien luku onnistuu, mutta se on melko takkuista omien kokemusteni perusteella. Myös tiedonsiirto eri valmistajien takymetreihin onnistuu tällä ohjelmistolla. Tämä on hyödyksi vaikkapa apupisteiden siirtämisessä jollakin isolla kaivausalueella tietokoneelta takymetrin maastotietokoneelle. (Muukkonen 2019.)

CloudCompare

CloudCompare on ilmainen avoimen lähdekoodin ohjelma. Sen alkuperäinen idea oli käsitellä massiivisia pistepilviä tavallisimmilla kannettavilla tietokoneilla. Tarkoituksena oli myös verrata muutoksia pistepilvistä, joita oltiin luotu laserkeilamaalla teollisuuden rakennuksia. Itse ohjelmisto projektina alkoi vuonna 2004. Ohjelmistoa olivat kehittämässä Ranskan valtion omistama energiayhtiö Électricité de France. Ohjelmisto on saatavilla Windowsille, Linuxille ja Mac OS:lle. Yleiseen käyttöön CloudCompare tuli vuonna 2009. Nykyään ohjelmistolla pystyy hyvällä tietokoneella käsittelemään kerralla noin 150 miljoonan pisteen aineistoa. Ohjelmistoon on lisätty myös rekisteröinti- eli

georeferointimahdollisuus. Tämä tarkoittaa pistepilvien yhdistämistä. Väritysmahdollisuus niin tiheyden kuin korkeuden perusteella on mahdollista. Tiedostomuunnos on myös erinomainen tässä ohjelmistossa. CloudCompare lukee muun muassa ASCII-, LAS- ja E57-tiedostoja, kuten myös eri laserkeilainvalmistajien tiedostoformaatteja. Aineistoa pystyy kirjoittamaan ulos myös esimerkiksi kaikkiin edellä mainittuihin formaatteihin. CloudComparella pystyy erittäin helposti myös editoimaan pistepilviaineistoa. Leikkaustyökalulla saa nopeasti turhat ylimääräiset pisteet pois, ja katselukuvakulmaa apuna käyttäen leikkaustyökalua voidaan hyödyntää vaikeisiin poistettaviin pisteisiin. (CloudCompare 2016.)

Autodesk ReCap

Autodesk perustettiin Yhdysvalloissa vuonna 1982 ja on kansainvälinen ohjelmistokehittäjä niin arkkitehtuuri-, insinööri-, rakennus-, tehdasvalmistus- kuin myös media- ja pelialalle. Yrityksellä on kymmeniä näille toimialoille tarkoitettuja ohjelmistoja. Lippulaivatuote on AutoCAD, eli tietokoneavusteinen suunnitteluohjelma (CAD=Computer-aided design). Liikevaihto oli vuonna 2018 2.57 miljardia yhdysvaltain dollaria. (Coppinger 2019.)

ReCap on yksi Autodeskin tuotteista, ja se tulee sanoista ”Reality Capture”. Ohjelmisto on edullinen ja käyttäjäystävällinen. (Coppinger 2019.) Työjärjestys etenee siten, että aluksi luodaan projekti, jonne siirretään pistepilviaineisto. ReCap pystyy lukemaan tavallisimpia pistepilvitiedostoja, kuten yllä mainittu CloudCompare. Ohjelmistosta saadaan uloskirjoitettua AutoCADiin yhteen sopiva .rcp-tiedosto. ReCap on hyödyllinen, jos pistepilvien avulla tarvitsee piirtää CAD-ohjelmilla esimerkiksi korjausrakentamisessa. Korkeuden avulla määritelty pisteväri on mielestäni ReCapissa parempi kuin CloudComparessa, mutta nämä ovat vain käyttäjäkohtaisia kokemuksia. Editointityökalut ovat jokseenkin vaikeammat kuin CloudComparessa. Näiden ohjelmien yhteiskäyttö saattaa olla hyödyllistä.

3 MAANMITTAUSTEKNIIKAN HYÖDYT JA POTENTIAALI ARKEOLOGIASSA

3.1 Takymetri ja GPS

Arkeologisissa kenttätöissä maanmittaustekniikan tärkeyttä ei voida kiistää. Tärkeimpiä asioita, joita voi maanmittauksen kuvitella auttavan, on muinaismuistoalueen sitominen peruskartalle, löytödokumentoinnin kolmiulotteinen tarkastelu sekä havaittujen kulttuurikerrosten ja rakenteiden dokumentointi (Väisänen 2020). Globalisaation ja sitä myöten maahantuonnin ja tarjonnan helpottuessa maakuntamuseot ja yksityiset yrittäjät eivät tarvitse markkinoiden kalliimpia takymetrejä. Myös julkisen sektorin maanmittausosasto (kunnat ja kaupungit, Maanmittauslaitos) on tarvittaessa apuna arkeologisille toimijoille.

Kiinteät muinaisjäännökset ovat rauhoitettuja muinaismuistolain nojalla. Tämän takia paikkatieto on oleellinen ennen kaikkea maankäytön suunnittelussa, että tiedetään muinaismuistoalueiden lokaatio. Tämä on hieman suurpiirteisempää kartoitusta, kuten myös inventoinnin menetelmät. Inventoinnilla tarkoitetaan alueen alustavaa maastotutkimusta, johon kuuluu mahdollisten arkeologisten kohteiden löytämistä ja perusdokumentointia. Tässä apuna yleisesti käytetään tulostettua peruskarttaa, johon voidaan merkata potentiaalisiksi arvioitu ja tarkastettu alue sekä maastossa havaittu löytöalue. GPS-laitteen käyttö on yleistä, jolla saadaan sijainti talteen mahdollisia jatkotutkimuksia varten, sekä toki myös yllä mainittua rauhoitusta ajatellen.

Kaivausvaiheessa maanmittaustekniikka on oiva dokumentointitapa. Takymetrimittaus on todella nopea tapa dokumentoida alle senttimetrin tarkkuudella kaivausalueen löydöt. Neliöruudukon laatiminen ilman takymetriä sekä vaaituskojeen tähtäämisen korkeuslattaan vaatii aikaa ja voi olla hidasta. Takymetrillä voi karkeasti sanottuna huoletta tallentaa tiedot nappia painamalla. Vaaituskoje sitoo myös kaksi työntekijää, kun robottitakymetrillä työskennellään yhden ihmisen voimin. Huolellinen takymetrimittaus tarkoittaa helpompaa ja

nopeampaa tapaa saada aikaiseksi digitaalinen kartta, kuin käsin piirtämällä luotu kartta. Tallennettu tieto on luotettavaa.

Tarkka x-, y- ja z-koordinaatisto ovat tutkijoiden tukena. Takymetri on alkanut korvaamaan vaaituskojetta kaivausalueilla. Korkeuden sitominen nykyiseen järjestelmään on helpompaa varsinkin, jos apupisteinä on käytetty RTK-GPS-laitteen kartoituspisteitä. Korkeuden saaminen on tärkeää kivistä (ja kaikenikäisillä) asuinalueilla, kun ajatellaan rannansiirtymishistoriaa. Kun asuinpaikasta saadaan korkeustieto, muinaisilla ranta-alueilla sijainneet asuinpaikat ovat sidottavissa rannansiirtymishistoriaan. Näin saadaan kunkin alueen varhaisin mahdollinen käyttöikä. Kaivausvaiheessa takymetrillä on todella helppo tehdä suorakulmaisesti arkeologiselle kaivaukselle tyypillinen kaivausalueen ruudukoimiseen tarkoitettu neliömetrin kokoinen alue. Tällä tavoin saadaan koordinaatisto, joka helpottaa löytöjen talteenottoa ja dokumentoinnin käyttöä. Löytöjä mitattaessa, saadaan levintäkartta. Tätä voidaan hyödyntää, kun halutaan saada selville ihmisten elintavoista ja esim. asuinpaikan eri osien funktioista. Esimerkiksi hiilin palaset ja luiden palat voidaan tulkita paikalla olleen syömiseen tarkoitettu paikka. Yleiskartan tekeminen alueesta onnistuu myös GPS- ja takymetrilaitteistolla. Tällöin saadaan tarkka karttatekninen kuvaus esimerkiksi rautakautisen kylän laajuudesta. (Puttonen & Seitsonen 2004, 15.)

3.2 Laserkeilain

Laserkeilaimen käyttö tulee yleistymään myös julkiselle sektorille. Museoviraston Arkeologisten kenttäpalveluiden käytössä on Faron laserkeilain (Väisänen 2019), sekä Muuritutkimuksella yksityisellä sektorilla on Riegl VZ-400i ja Riegl VZ-1000. (Helamaa 2019.)

Laserkeilain on edellä mainituissa työympäristöissä käytössä, kun halutaan dokumentoida lähinnä kolmiulotteisia tai isoja rakenteita, kuten kellarit, seinät rakennukset ynnä muut. Myös laajan kartta-aineiston laatimiseen laserkeilaimella on varmasti potentiaalia, sillä se tuottaa nopeasti ja tehokkaasti tietoa ympäröivästä maastosta. Esimerkiksi Faro Focus^S 150 pystyy tallentamaan hieman alle miljoona pistettä sekunnissa. Takymetrin ominaisuudet sisältävä

Trimblen SX10 pystyy tuottamaan noin 27 000 pistettä sekunnissa. Yhden keilausaseman mittausaika on asetuksista ja tarkkuudesta riippuen keskimäärin kolmen ja viiden minuutin luokkaa. Muutamassa tunnissa saadaan siis lähes täydellinen pistepilvi. Toki valokuvaus on huomattavasti nopeampaa, mutta käteen jää vain kuva, jota ei voida tutkailla muualta kuin samasta suunnasta. On olemassa fotogrammetrisia ohjelmia, jotka muuttavat kuvat mosaiikkiksi, jota pystyy tarkastelemaan kolmiulotteisesti, mutta varmuus aineiston yhteneväisyydestä ei ole niin varmaa, kuin laserkeilaimella. Dokumentointi ja aineiston käsittely vie toki tietokoneella aikaa, mutta niin se saattaa takymetriaineistonkin kanssa viedä. Jälkikäsitteilyn jälkeen pystytään tulkitsemaan esimerkiksi kaivetusta rakennusten pohjista historiallisen ajan pohjapiirros.

Laserskannaamalla saaduista pistepilvistä on pystytty havaitsemaan esimerkiksi Stonehengen kivipaaseissa aiemmin tiedostamattomia eerosion tai kasvillisuuden tuhoamia hakkujen ja vasaroiden näköisiä kaiverruksia (Kuvio 2). Tällainen dokumentointitapa on varsin etevä pinnoille, varsinkin jos jo silmällä pystytään havaitsemaan, että kyseisellä pinnalla on jonkun näköistä kaiverrusta säilynyt. Suomessa kivi- ja kalliohakkaukset ovat yleensä suhteellisen nuoria, historialliselta ajalta. Konsultit ovat joitakin kohteita (kalliohakkauksia) kartoittaneet tällä tekniikalla. Toki jo olemassa olevien isojen kivimonumenttien, esimerkiksi jatulintarhojen systemaattinen skannaaminen kaiverrusten toivossa on melko mahdoton ajatus, sillä se vie aikaa ja resursseja.



Kuvio 2. Löydettyjen kaiverrusten sijainti (Pitts 2015)

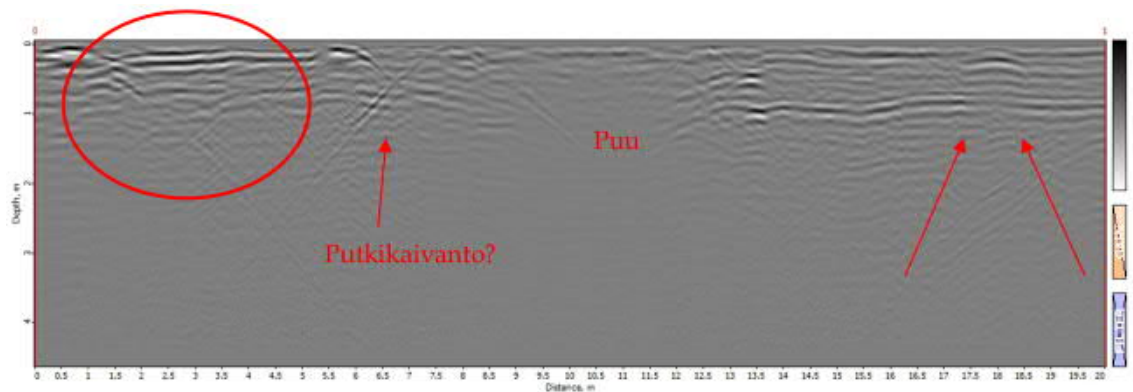
Erilaisten suojeltujen rakennusten ja monumenttien tallentaminen digitaaliseen muotoon voisi olla eräs tapa valvoa ja vaalia arvokasta kulttuuriperintöä. Jonkinlainen VR-kokemus voi olla myös tulevaisuudessa tapa tutustua kulttuurihistoriallisesti merkittäviin rakennuksiin.

3.3 Maatutka

Arkeologiassa maatutkaus on ollut käytössä 1990-luvulta asti. Vasta nykyään se on alkanut toden teolla olemaan arkeologien apuna arkeologisessa tutkimustyössä.

Maatutkan avulla maan sisällä olevat rakennemuutokset näkyvät tietokoneen näytöllä. Arkeologiassa tämä tarkoittaa sitä, että maatutkauksen avulla pystytään löytämään muinaisjäännöksiä, kuten esimerkiksi perustusrakenteita maan alta. Tällainen esitutkiva työ ja etsintä helpottaa siinä määrin arkeologin työtä, että maatutkaustulosten perusteella pystytään kohdistamaan kaivaustyöt alueen potentiaalisimpiin kohtiin. Maatutkaus itsessään käsittää normaalin kävelyvauhdin, noin viisi kilometriä tunnissa. Tunnissa voidaan tutkia neljänneshehtaarin kokoinen alue. (Helamaa 2020.) Maatutkauksen aineiston

avulla tästä hehtaarin kokoisesta alueesta saadaan osoitettua mielenkiintoiset kohteet (Kuvio 3). Ilman maatutkausta arkeologin työ vastaavan kaltaisella alueella tarkoittaa siis koekuoppien tai -ojien tekoa ilman täydellistä varmuutta, löytyykö kiinteitä rakenteita. Tähän saattaa kulua useita päiviä. Toki maatutkaus paljastaa myös nykyaikaisia rakennelmia, kuten kunnallistekniikkaa tai kaivuujälkien vaihtelua, ja siksi koekuoppa saattaakin olla ainoa keino paljastaa, onko kyseessä arkeologinen kohde vai ei. Kun kyse on arkeologisesta tutkimuksesta, on oleellista ruudukoida alue, jossa työskennellään maatutkalla. Tällöin pysytään suorissa linjoissa ja aineiston tulkinta on helpompaa, kun aineisto on tehty oikein. Käytännön työskentelyssä ei ole eroja siihen, tutkitaanko nykyaikaisia vai menneisyyteen liittyviä esineitä.



Kuvio 3. Tampereen Frencckellin pannuhuoneen edustan maatutkauksen tuloksia (Muuritutkimus 2018)

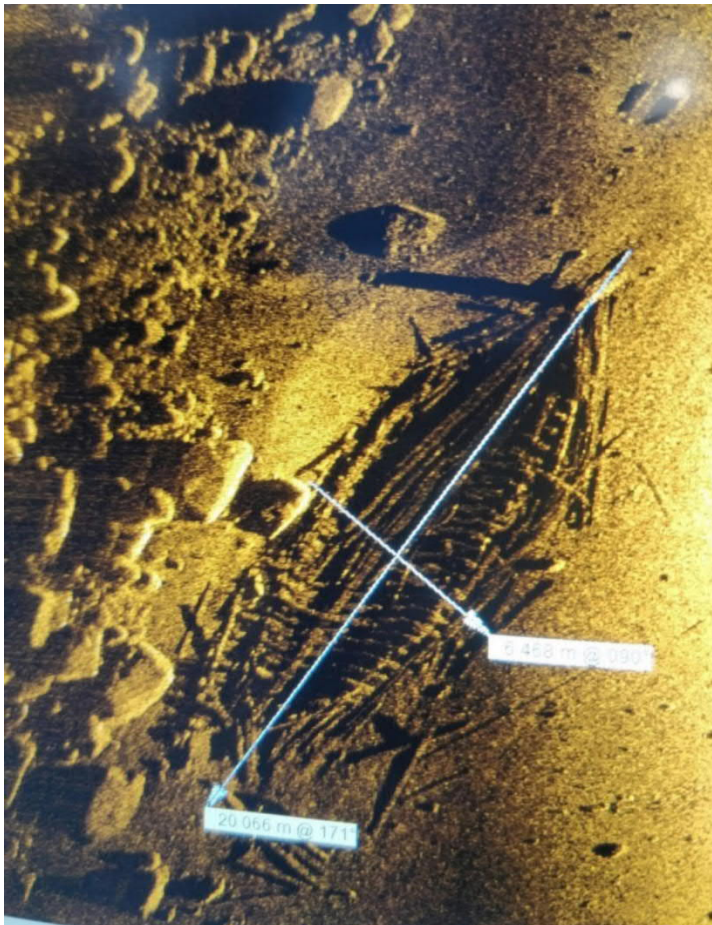
Maatutkalaitteisto antaa aluksi varsin raakanäköistä tietoa. Tähän on maatutkalaitteiston valmistaja kehittänyt ohjelmistoja kohentamaan aineistoa, kuten yllä olevassa kuvassa. Myös kolmiulotteiseen kuvaamiseen päästään editointiohjelmilla.

Tällä hetkellä vaikuttaa vielä siltä, että Suomessa maatutkaus arkeologiassa ei ole vielä ihan täydessä potentiaalissaan. Markkinoilla on kehittyneempiä maatutkalaitteistoja, mitä tutkimuksessa tällä hetkellä käytetään. Ympäristö ja maaperä asettavat omat haasteet maatutkaukselle. (Väisänen 2020.) Toisaalta sille ei ole mitään suurempaa tarvettakaan, mikäli arkeologian ammattilaiset saavat tarvittavat tulokset jo käytössä olevilla laitteilla. Tässäkin tapauksessa

tärkeintä on ehdottomasti saada oikeaa tietoa, eikä se, että tieto on hankittu mahdollisimman hienoilla ja kalliilla laitteistoilla.

3.4 Viistokaikuluotain

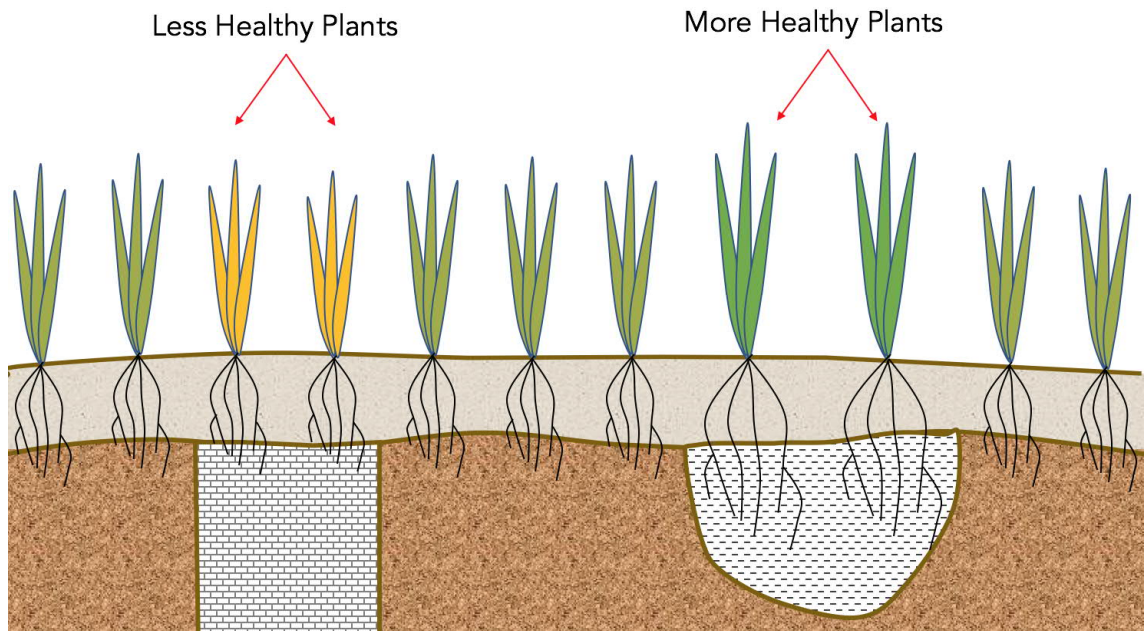
Viistokaikuluotaimen hyöty vesialueiden arkeologisessa tutkimuksessa on erittäin suuri. Tutkimuksen suorittaminen veneeltä käsin verrattuna sukeltamiseen on turvallinen ja kustannustehokas. Tällä menetelmällä, kun on todettu kiinteä muinaisjäännös, alue saadaan rauhoitettua, kun kohdetta on tarkasteltu visuaalisesti ja otettu tarvittavat näytteet. (Huttunen 2020.) Tämän jälkeen mahdolliset jatkotutkimukset voidaan aloittaa. Toki sukeltajaakin tarvitaan visuaalista tarkastusta ajatellen. Mitattu aineisto ei kerro esimerkiksi kohteen ikää, joten se täytyy todeta muilla keinoin. Vene itsessään on helppo määrittää aineistosta, sillä sen muoto on tunnistettavissa (Kuvio 4).



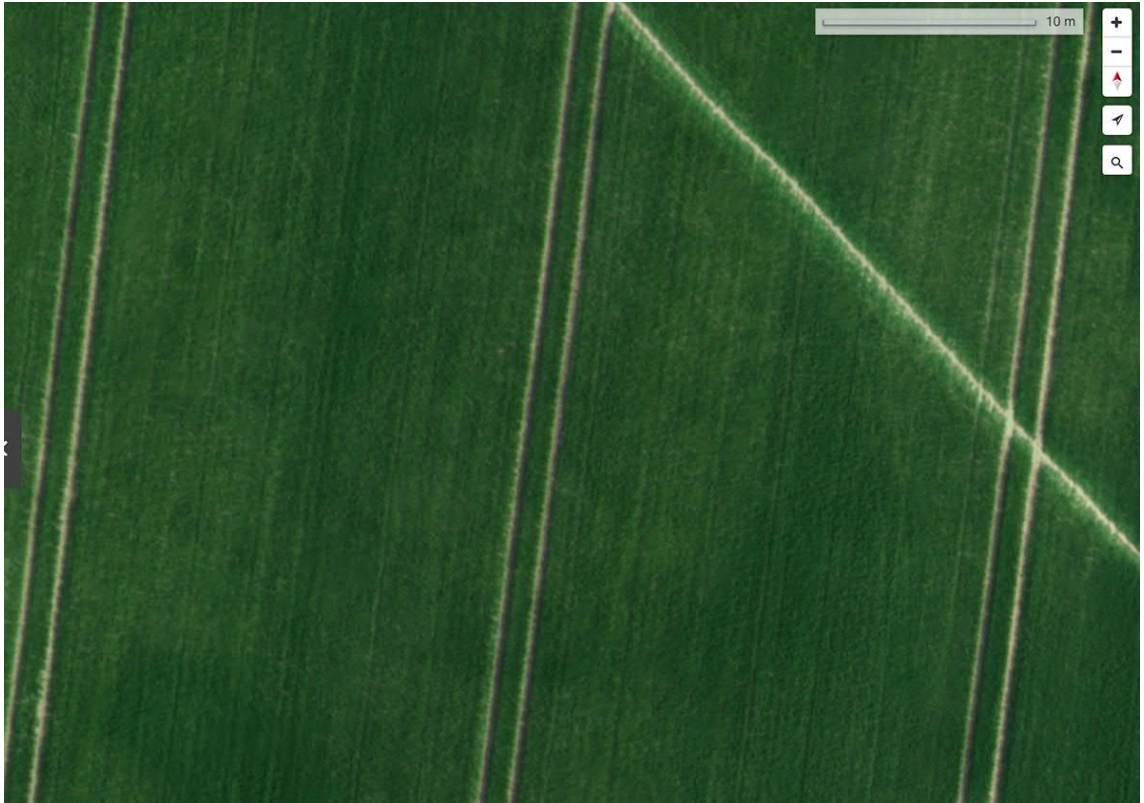
Kuvio 4. Alus, mahdollisesti venäläinen (Marcus Lepola 2019)

3.5 UAV ja Lidar

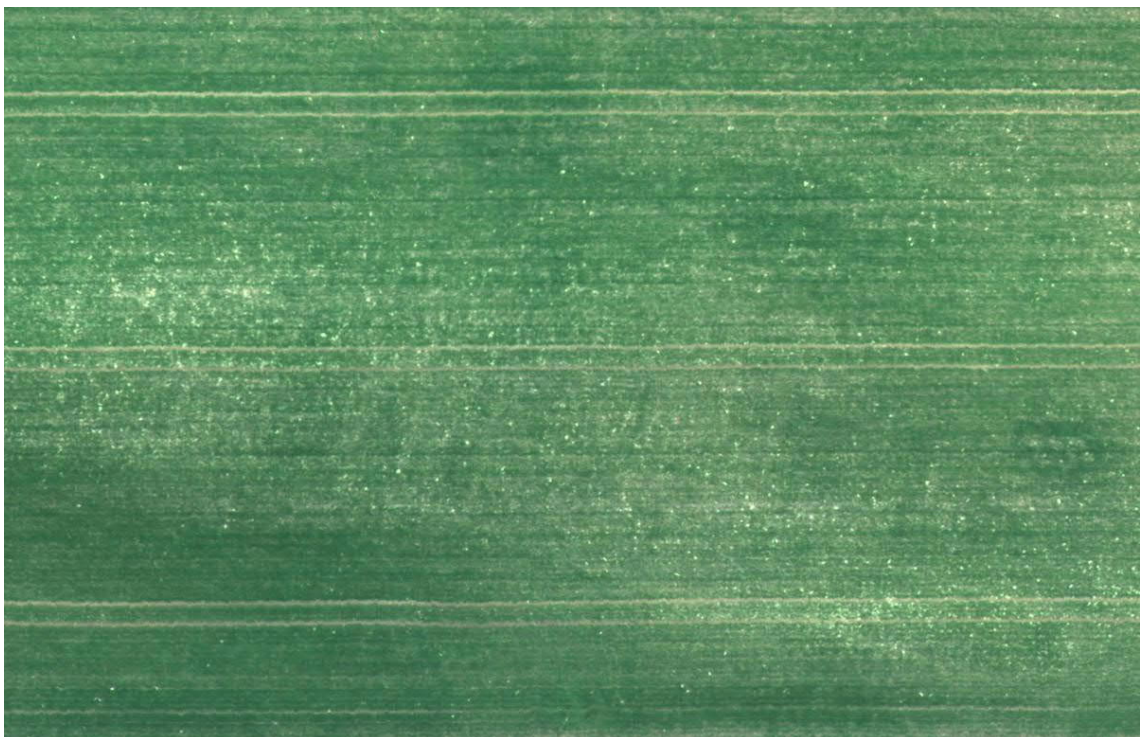
Kun puhutaan UAV-kuvauksesta arkeologisessa dokumentoinnissa, sen hyödyt tulevat siinä, että se helpottaa raportin laatimista. Ilmakuvalla pystytään havainnoimaan tutkittava kohde. Myös kaivausalueen kuvaus ilmasta käsin on tarpeellinen hahmottamaan alue kontekstissaan, eli suhteessa ympäröivään maastoon. Suomessa on hyvä tilanne ortokuvien osalta. Paikkatietoikkunasta pystyy ortokuvien avulla analysoimaan maastokarttaa tarkemmin mahdollisia inventoinnin kohteita, maankäyttöä, kasvillisuutta, tai missä suhteessa vaikka vesistö on tarkasteltavaan alueeseen. Peltoalueilta voidaan tunnistaa myös muinaisjäännöksiä ilmakuvista, sillä maa-aines vaikuttaa viljan kehitykseen (Kuvio 5). Jos taas paikalla on ollut ojamainen rakenne, kuten kivikautisissa kehärakennelmissa Iso-Britanniassa on ollut tapana rakentaa, kasvien kasvu on ympärillä olevia kasveja vauhdikkaampaa (Kuvio 6). Jos maan alla on perustuksia hävinneestä rakennuksesta, kasvien kasvuvauhti on muita hitaampaa (Kuvio 7).



Kuvio 5. Kasvien kasvu suhteessa muinaisjäännöksiin maan alla (MicaSense 2017)

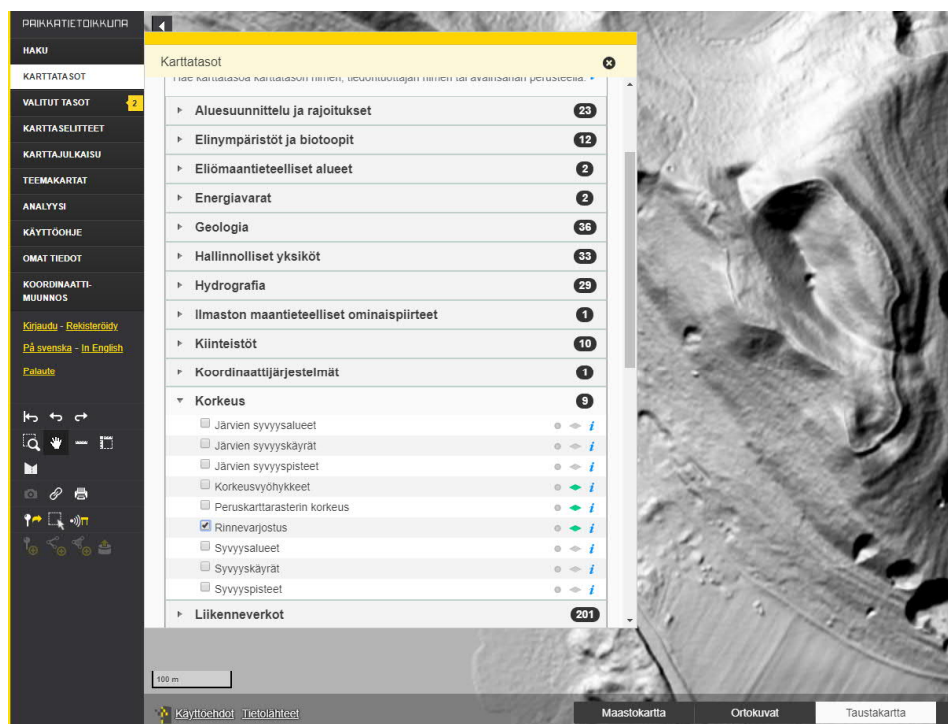


Kuvio 6. Keskellä on havaittavissa tummempi kehämäinen alue (MicaSense 2017)



Kuvio 7. Roomalainen huvila. Perustusten takia kasvusto on heikompaa (MicaSense 2017)

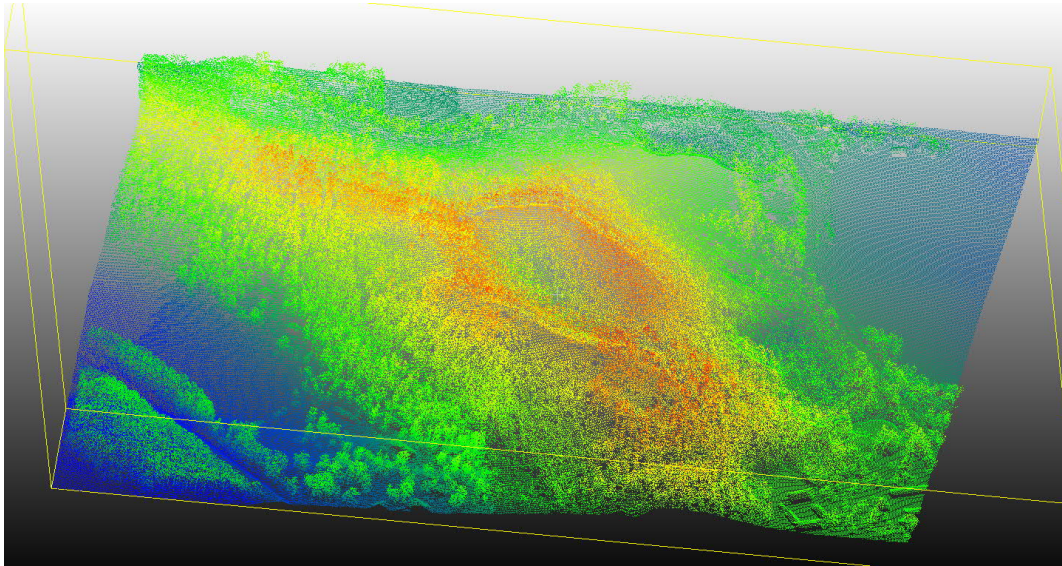
Lidar-aineistolla pystytään tunnistamaan ja alustavasti kartoittamaan maastosta rakenteita, kuten linnoituksia, tervahautoja, kivikautisia asumuspainanteita ynnä muita, tai laajoja kokonaisuuksia, joita ei välttämättä maastossa silmillä pystytä hahmottamaan. Se auttaa myös etsimään tiheästä kasvustosta arkeologeille mielenkiintoisia kohteita. Viime vuosina uutisissa on ollut monestikin Väli-Amerikan kadonneiden sivilisaatioiden lidar-aineistosta löytyneitä kokonaisia kaupunkeja. Vastaavia kohteita voidaan myös löytää satelliittien avulla. Suomesta on myös havaittavissa tunnettuja kohteita. Paikkatietoikkunan kautta pystyy tarkastelemaan mitä tahansa aluetta Suomessa rinnevarjostus-tekniikalla (Kuvio 8).



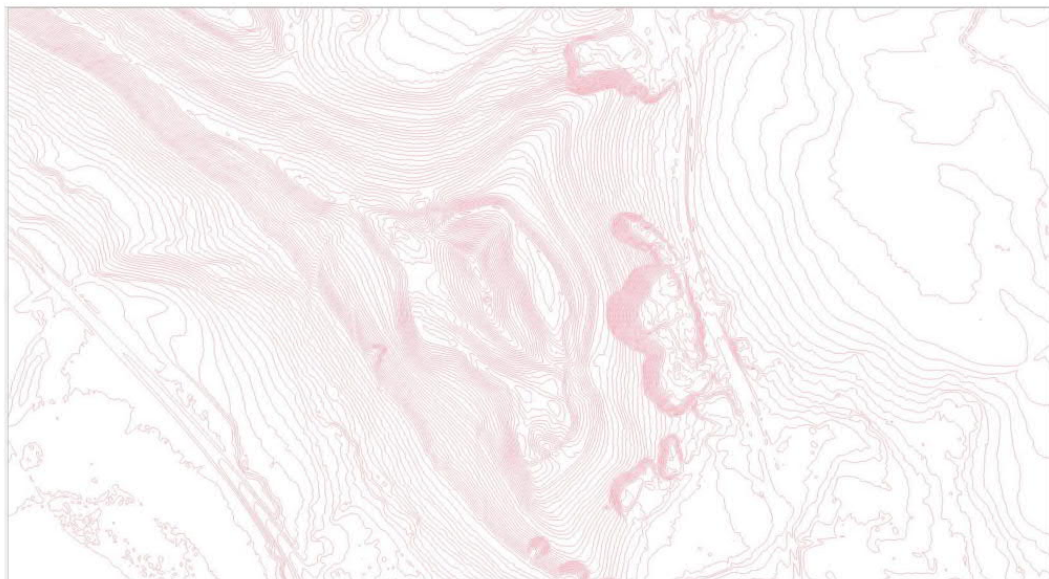
Kuvio 8. Rinnevarjostus on päällä. Oikealla Rapolan linnavuoren muurirakennelmaa

Maanmittauslaitos tarjoaa kansalaisille täysin ilmaisen avoimen datan palvelun, josta karttapaloittain saa yllämainitun kaltaisia varjostuskuvia ladattua tietokoneelle. Palvelun kautta saa myös laserkeilausaineistoa pistepilvenä. Nämä vaativat kuitenkin tietynlaisia ohjelmia, että ladatut aineistot saadaan avattua. Tällaisia aineistoja onkin mahdollista tarkastella muun muassa Quantum GIS-sekä CloudCompare-nimisillä ohjelmilla. Quantum GIS avaa korkeusmalliaineiston ja CloudCompare pistepilven. Näillä saadaan myös

hieman editoitua aineistoa esimerkiksi luomalla korkeusperusteiset värit, esimerkiksi sininen on matalin kohta ja punainen korkein (Kuvio 9). Quantum GIS-ohjelma tarjoaa myös työkalut korkeuskäyrien luomiseen (Kuvio 10).



Kuvio 9. Rapolan linnavuoren pistepilvi CloudComparella tarkasteltuna



Kuvio 10. Rapolan linnavuoresta tehty korkeuskäyrät metrin korkeuserolla

4 YHTEISTYÖKUMPPANIT

4.1 Johdatus

Opinnäytetyön aineiston hankkimiseksi haastateltiin neljää Suomessa toimivaa organisaatiota/yritystä, jotka käyttävät arkeologisissa tutkimuksissa maanmittausmenetelmiä. Näillä haastatteluilla pyrittiin saamaan faktatietoa maanmittausmenetelmien käytöstä näiden yritysten avulla.

4.2 Muuritutkimus

Muuritutkimus Oy on perustettu vuonna 1995. Osakeyhtiöksi yritys rekisteröityi vuonna 2018. Muuritutkimuksen liiketoiminta perustuu arkeologisten kenttätöihin, kuten arkeologisiin toimeksiantokaivauksiin ja lakisääteisiin maankaivuun valvontoihin. Yrityksen liiketoiminnassa on pitkä historia myös 3D-dokumentoinnilla. Heidän vahvuutenansa on maanmittaustekniikka osana arkeologista dokumentointia. Yritys ei juurikaan tee arkeologisia inventointeja, eli kohteiden etsimistä. Haastatteluhetkellä yrityksessä oli työntekijöitä noin 20 henkilöä. Vakituksia työntekijöitä oli viisi, sekä pidempiä määräaikaista myös viisi. Loput ovat projektityöntekijöitä. Suurin vaikutus projektityöntekijöiden määrään on ollut vuoden 2018 Suomen suurin kaivaus, Turun Kauppatori, joka jatkui myös vuodelle 2019. Työntekijät ovat pääsääntöisesti kaikki arkeologeja, mutta projektityöntekijöinä saattaa olla maanmittausalan ammattilaisia tai opiskelijoita. (Helamaa 2019.)

Muuritutkimuksen maanmittauslaitteisto haastatteluhetkellä sisälsi yhteensä kolme takymetriä. Tosin yksi oli varalaitteena. Kaksi laitetta, joita käytetään, on robottitakymetrejä. Merkeiltään nämä olivat Sokkia iX 1005, jossa on Mesa-tallennin. Toinen takymetri on Topcon GT 1003, jossa on Topcon FC 5000 -tallennin. Heillä on myös RTK-tarkkuudella varustettu GPS-laite, Javad Triumph 2 (Helamaa 2020). Laserkeilaimia yrityksellä on kaksi kappaletta. Käytännössä tarkoituksena oli myydä vanhempi laserkeilain pois, uuden laserkeilaimen tullessa, mutta kun myynti ei onnistunut, vanhempi malli on toiminut varalaitteena. Haastateltavan mukaan toiselle laitteelle onkin ollut käyttöä, kun kenttätyökohteita on saattanut olla käynnissä jopa kolme saman aikaisesti.

Lisäksi kaksi laitetta on mahdollistanut toisen laitteen huollot tai muille toimijoille vuokraamisen vapaammin. Uudempi laserkeilain on Riegl VZ-400i ja vanhempio Riegl VZ1000. Tietokoneohjelmoina Muuritutkimus käyttää AutoCADiä sekä maanmittausalalla varsin yleistä 3D-Win ohjelmaa. 3D-win on Muuritutkimukselle hyvä koordinaattimuunnoksiin, sillä ohjelma sisältää muunnosparametrit. Rieglin kanssa käytössä on RiSCAN PRO. Myös tukena on Autodeskin ReCap. (Helamaa 2019.)

Muuritutkimus käyttää laserkeilainta pääsääntöisesti kaikkiin kolmiulotteisiin kohteisiin maanpäällä, kuten Turun Linnan muurit. Myös maan alta löytyvät seinärakenteet ja tukimuurit sekä muut kivirakenteet ovat hyviä laserkeilauskohteita. Toki joitain suojeltuja rakennuksia on ollut työlistalla. Laserkeilain, mikä on Muuritutkimuksen käytössä, sisältää RTK-tarkkuudella varustellun GPS-paikannuslaitteen. Tällöin tähysten käyttöä ei tarvita maastossa, vaan pistepilvet saadaan tarkan koordinaatiston avulla toisiinsa linkitettyä. (Helamaa 2019.)

Takymetrimittauksissa Muuritutkimus tilaa kunnilta ja kaupungeilta kiintopistetiedot tai tarvittaessa luo ne itse RTK-GPS:llä. Tämän jälkeen takymetrin käyttäjät luovat maahan omia kiintopisteitä uusia koneasemia varten. Toki haastateltava mainitsi, että Kauppatorin laajuudessa isossa työkohteessa olisi ollut hyvä olla myös tarraprismoja. Orientoinnissa yritykselle riittää korjauslukemaksi noin 10 millia, eli takymetrin antama toleranssi mittausasemalle. Korkeudessa voisi äkkiseltään luulla, että milleilläkin on väliä, sillä arkeologiassa pyritään selvittämään löytöjen korkeussuhteita. Tämä sen takia, että yleisesti käy toteen sellainen teoria, että mitä syvemmällä maan aineksessa löytö on, sitä vanhempi sen on pakko olla suhteessa ylempiin löytöihin. Tämä auttaa määrittämään kaivauskohteen ikää. Haastateltava kuitenkin toteaa, että täytyy muistaa mahdollisten löytöjen olleen maassa jopa satoja vuosia, että se ei välttämättä ole tarkalleen enää siinä kohtaa, mihin se on aikanaan jätetty. Kooditus on yrityksen täysin oma ja varsin monipuolinen, kuten kaikilla toimijoilla. Haastateltava antoi tähän varsin selkeän selityksen, eli kirjain koodissa tarkoittaa tyyppiä, esimerkiksi r tarkoittaa rakennetta. Myös eri kerroksittain on oma luokitus koodissa. Numerointi on myös alueittain vaihtuva.

Tällä saadaan arkeologisen tutkimuksen kannalta varsin selkeä ja yksiselitteinen dokumentointi, mitä on löydetty ja missä on löydetty. (Helamaa 2019.)

Asiakaskuntaa yrityksellä on kunnat ja kaupungit, suuret yksityiset rakennushankkeiden yritykset kuten Skansa, Väylävirasto ja satunnaisesti sähköyhtiöt. Myös seurakunnat ovat asiakaskuntaa. Varsinainen prosessi kaivausten osalta menee niin, että tilaajalla on kohde, jossa etukäteen tiedetään, että kohteessa on muinaisjäännös. Investoinnin tilaaja on saanut Museoviraston Kulttuuriympäristöpalveluilta tai alueellisilta vastuumuseoilta lausunnon, että kohteessa tarvitaan arkeologista tutkimusta kohteen selvittämiseksi. Tämän jälkeen tilaaja on vapaa kilpailuttamaan, kuka tekee tämän tutkimuksen. Muuritutkimus on yksi yrityksistä, joka tarjoaa palvelujaan tässä vaiheessa. Tämän jälkeen, kun työn suorittaja on valittu, se hakee lupaa Museovirastolta. Tutkimuslupa sisältää tiettyjä edellytyksiä, kuten kuka tekee, missä tehdään ja miten tehdään. Tutkimusten jälkeen viranomaisille lähetetään raportti kaivauksista tai valvonnasta. On hyvä tietää, että Museoviraston arkiston standardi lakisääteisen kaivausportin kartta-aineistolle on edelleen mustavalkoinen 2D-tuloste (paperi tai nykyään myös pdf), jopa puhtaaksi piirretty käsin tehty kartta on mahdollinen. Eli nykYTEknologian hyödyntäminen ei arkeologisen dokumentaation kannalta ole viime kädessä viranomaisen edellytys. (Helamaa 2020.)

4.3 Nordic Maritime Group

Nordic Maritime Group Oy, aikaisemmalta nimeltään Pintafilmi Oy (perustettu 2009), sai nykyisen nimensä, kun vuonna 2016 Ruotsiin perustettiin sisaryritys Nordic Maritime Group AB, jossa Pintafilmi Oy (nykyinen Nordic Maritime Group Oy) on pääosakkaana. Samaan aikaan Pintafilmi vaihtoi nimensä nykyiseen muotoon. 2012 lähtien, kun yritykseen palkattiin meriarkeologi, alkoi yrityksessä vedenalaiset kulttuuriperintöinventoinnit. Yrityksellä on Suomessa kaksi työntekijää, haastateltu merigeologi sekä meriarkeologi. Ruotsissa toimii yksi henkilö. (Huttunen 2019.)

Yrityksellä on laitteistona DeepVision DE3468D-viistokaikuluotain, jonka maksimisyvyys operointiin on 100 metriä. Ohjelmistona käytetään sekä aineiston

tallentamiseen että tulkintaan DeepView-ohelmaa. Laitteiston taajuus on 340 ja 680 kHz. Ohjelmiston kautta käyttäjä pystyy valitsemaan, kumpaa taajuutta käyttää. Aineiston laadun kannalta vesiprofiilin mittaamista ei tarvitse tehdä. Oleellinen tekijä on saada kaikuluotain harppauskerrosten alapuolelle, ja tärkeintä on nimenomaan termokliinin eli lämpötilan harppauskerroksen alapuolelle. Heillä on myös käytössä ROV (Remote Operated Vehicle) eli vedenalainen kauko-ohjattava robotti, jota käytetään visuaalisten tarkastusten tekemiseen sukeltajan ohella. (Huttunen 2019.)

Vaikka yrityksen kaikki työntekijät ovat sertifioituja sukeltajia, niin vedenalaiset kohteet tehdään aina inventointiin ensisijaisesti kaukokartoitusmenetelmällä. Kenttätöiden aluksi alue luodataan, ja jos siellä on poikkeavuuksia tai anomalioita, kohteet poijutetaan ja tarkastetaan, joko ROV:llä tai sukeltaen. Tarkoille GPS-laitteille ei käytännössä ole tarvetta, sillä jos löydös tulkitaan muinaisjäänneksi, siihen on silloin asetettava suojavyöhyke. (Huttunen 2019.)

Nordic Maritime Group tekee pääsääntöisesti vedenalaisia kulttuuriperintöinventointeja, eli asiakas (kunnat, kaupungit ja toiset konsulttiyritykset) pyytävät heiltä kohteen inventointia, jossa selvitetään, onko alueella mahdollisia muinaisjäänneksiä. Monesti, jos sellainen kaukokartoituksella löytyy, niin seuraava dokumentointitapa on ROV. Joskus saattaa olla kuitenkin tarpeellista pyytää viranomaisilta kajoamislupa. Yrityksellä on käytössään myös DJI Mavic Pro 2 UAV-kopteri (Huttunen 2020). UAV-kuvauksella pystytään helpommin matalista vesistä todentamaan esimerkiksi hyllyn todellinen koko. Myös siinä mielessä se on hyvä, että viistokaikuluotain ei välttämättä ole parhaimmillaan vedessä, jossa vesisyvyys on alle metrin. (Huttunen 2019.)

Lähtötietona yritys käyttää Kansallisarkiston Digitaaliarkistoa, Paikkatietoikkunaa, paikallishistorian teoksia sekä Maanmittauslaitoksen avoimen datan aineistoa. (Huttunen 2019.)

4.4 Museoviraston Arkeologiset kenttäpalvelut

Arkeologiset kenttäpalvelut on Museoviraston sisällä toimiva erillinen yksikkö. Haastateltavan edustama osa yksikköä tekee konsulttitoiminnan periaatteilla tilaustutkimuksia. (Väisänen 2020.)

Museoviraston Arkeologisten kenttäpalveluiden mittauslaitteistona heillä on Topcon QS ja Trimble S3 robottitakymetrit. Heillä on myös ilman robottitoimintoa kaksi takymetriä, manuaalinen OS Topcon ja Sokkia Set 2. Heillä on VRS-GPS laitteina Topconin GRS1 sekä Trimblen R10. Laserkeilain on Faro-nimiseltä valmistajalta. Tarkkuus näitä laitteita käytettäessä riippuu kohteesta. Kaivauksilla takymetrimittauksissa tarkkuus pyritään pitämään noin senttimetrissä, kun mitataan kulttuurikerroksia ja rakenteita. (Väisänen 2020). Koeojien mittaamisessa sekä harvojen havaintojen valvontatyön yhteydessä riittää useimmiten GPS. Peitteisissä maastoissa käytetään takymetriä. (Väisänen 2019.)

Laserkeilain on Museovirastolla hieman vähemmällä käytöllä. Mutta silloin kun sille on tarvetta, se on heillä käytössä, kun kartoitetaan isoja rakenteita, kuten kellarit, seinät tai rakennukset. Joissakin pienemmissä kohteissa Museovirasto käyttää apunaan fotogrammetriaa. Näillä mittaustekniikoilla saatavilla 3D-kuvilla ja ortokuvilla Museovirasto hyödyntää niitä sähköisen arkistoinnin puuttuessa lisätietona sekä visualisointina. (Väisänen 2020.)

4.5 Pirkanmaan maakuntamuseo

Toisin kuin muut tämän kappaleen haastattelut, Pirkanmaan maakuntamuseo oli aktiivisesti yhteistyössä koko projektin ajan. Kenttätöyökokeilu heidän avustuksellaan ja aktiivinen vuorovaikutus mahdollisti tärkeitä osia tätä työtä.

Pirkanmaan maakuntamuseossa hoidetaan suurinta osaa Tampereen museoiden alueellisista tehtävistä. Se antaa asiantuntija-apua niin rakennuskulttuurin, korjausrakentamisen kuin arkeologiaan liittyvissä asioissa. Maakuntamuseo antaa kaavoitusta koskevia lausuntoja ja on osallisena muun muassa maankäyttöhankeissa. (Vapriikki 2014.)

Pirkanmaan maakuntamuseossa on 10 vakituista työntekijää, osa arkeologeja ja osa rakennusperinnön tutkijoita. 1990-luvun alusta lähtien Pirkanmaan maakuntamuseo on toiminut maakuntamuseona sekä alueellisena museoviranomaisena Museoviraston sopimuksen perusteella. Vuoden 2020 alusta uuden museolain perusteella Pirkanmaan maakuntamuseo toimii alueellisena vastuumuseona. Ennen museokeskus Vapriikkia Pirkanmaan maakuntamuseon yksikön edeltäjä toimi Hämeen museon tiloissa Näsilinnassa Tampereella. Suurin arkeologinen kenttätutkimusprojekti heillä on ollut Pirkkalassa sijaitsevan Tursiannotkon tutkimukset. (Adel 2020.)

Pirkanmaan maakuntamuseolla on kattava laitteisto. Heillä on maatutka Zond12. Ohjelmistona maatutkaukseen on Prism2 ja Voxler. GPS-laitteita on useiden käsi-GPS-laitteiden lisäksi Topcon GRS-1. Takymetrit ovat myös samalta valmistajalta, Topcon DS-105AC ja GPT-7505. Myös perinteisempiä laitteita löytyy, kuten metallinpaljastin Garrett Ace 250, etäisyysmittari sekä bussoli ja kulmaprisma. Maakuntamuseo on ottanut testaukseen myös Typhoon-kuvauskopterin. (Adel 2020.)

5 KENTTÄTYÖT

5.1 Johdatus

Tässä kappaleessa esitetään kahta maastossa suoritettua työtä, jotka on tehty yhteistyössä Pirkanmaan maakuntamuseon kanssa. Ensimmäinen työ on itsenäisesti Tampereella Reuharinniemen lapinraunioilla suoritettu laserkeilaus ja toinen Museokeskus Vapriikin pihalla tehty maatutkaus maakuntamuseon arkeologin opastuksella. Reuharinniemen lapinraunioiden laserkeilaus on opinnäytetyön päätyö.

5.2 Laserkeilaus Reuharinniemen lapinraunioilla

5.2.1 Alustus kenttätöihin

Ennen mittauksia sovittiin tapaaminen Pirkanmaan maakuntamuseon toimipisteellä museokeskus Vapriikilla Tampereella 26. päivä lokakuuta. Paikan päällä oli kaksi arkeologia sekä yksikön päällikkö. Heiltä tuli kiinnostus opinnäytetyön aihealuetta kohtaan ja yhdessä pohdittiin sopivaa kohdetta. Sopivaksi kohteeksi päätettiin Tampereen Lentävänniemessä sijaitsevan Reuharinniemen pienemmän, tutkimattoman lapinraunion kartoitus. Lapinrauniot ovat enimmäkseen varhaismetallikautisia ja rautakautisia kiviröykkiöitä. Ajallisesti tämä tarkoittaa noin 1900 eKr.-1200 jKr. Tyypillisesti lapinrauniot sijaitsevat järvenrantakallioilla näkyvillä paikoilla. Nykyään ollaan sitä mieltä, että röykkiö on lapinraunio, jos se kyetään yhdistämään pyyntiväestöön, joka asutti Suomen sisämaata. Lapinraunioksi röykkiön tekee tämän lisäksi se, jos röykkiö vaikuttaa haudalta tai muussa rituaalisessa tarkoituksessa rakennetulta. (Saipio 2011, 19.)

Kenttätyö haluttiin suorittaa laserkeilaamalla eli laserkeilainominaisuudella varustetulla takymetrillä. Tavoitteena oli tutustuttaa museokeskuksen arkeologeja nykyaikaisiin kartoitusmenetelmiin ja havainnollistaa tietokoneohjelmalla pistepilven käyttömahdollisuuksia. Lisäksi haluttiin selvittää, ovatko lapinraunion reunakivet sijoitettu aikanaan enemmän harvinaisempaan suorakulmaiseen muotoon kuin yleisempään ympyrän muotoon.

Mittauksissa käytetyt laitteet saatiin lainaan Koulutuskuntayhtymä Tavastialta. Laitteet olivat Trimblen R10 RTK-GPS:n, siihen tarvittava prisma-auva, Trimble SX10-keilaintakymetri, kolmijalat, 360°-aktiiviprisma ja Trimble TSC7-maastotietokone. Laitteiden saaminen lainaan edellytti kahden kartoittajaopiskelijan ottamista mukaan mittauksiin ja samalla esittelemään heille mittauksissa käytettyjä laitteita. Opiskelijat saivat myös kenttäkokemusta erilaisessa kohteessa.

5.2.2 Kenttätöypäivä

Yhteyshenkilönä kenttätöissä toimi Pirkanmaan maakuntamuseon arkeologi Vadim Adel. Hänen kanssaan käydyn keskustelun pohjalta ei ollut tarvetta selvittää kaupungin kiintopisteverkostoa laitteiden orientoimista varten. Kenttätöiden mittauksissa käytettiin kiinteistöpisteverkoston sijaan GPS-laitetta, jolla aineisto saatiin yhtenäiseksi aineistoksi koordinaatistoon. Mittaustoleranssin eli mittaustarkkuuden ei tarvinnut kohteen luonteen takia millintarkka. Toleranssi oli sen verran salliva, että mittauksessa ei tarvittu äärimmäistä tarkkuutta.

Ensimmäiseksi kohteessa rakennettiin apupistekoordinaatisto satelliittikartoituksella. Koneasemien sijainnit osoitettiin laserkeilaimelle ja näin muodostui rata lapinraunion ympäri. Kiinteisiin kohteisiin, kuten kiviin ja kallioon merkattiin tussilla apupisteet (Kuvio 11). Laserkeilain orientoitiin prisma-auvan ja prisman kanssa apupisteillä eli määrettiin pisteiden avulla kojeasema koordinaatistoon.



Kuvio 11. Tussilla piirretty apupiste

Laserkeilaimen aineiston kannalta oli tärkeää, että mitattavaan ympäristöön saatiin rakennettua mahdollisimman hyvä apupisteverkosto. Kohteessa sijaitsi paljon puita, joten niiden kylkiin päätettiin tehdä merkkausliidulla ja tussilla ristejä (Kuvio 12). Näihin risteihin kartoitettiin laserkeilaintakymetrillä koordinaatit apupisteiksi. Puihin merkattujen apupisteiden avulla jokainen kojeasema saatiin järkevästi asemoitua samaan koordinaatistoon.



Kuvio 12. Apupisteristi puun kyljessä

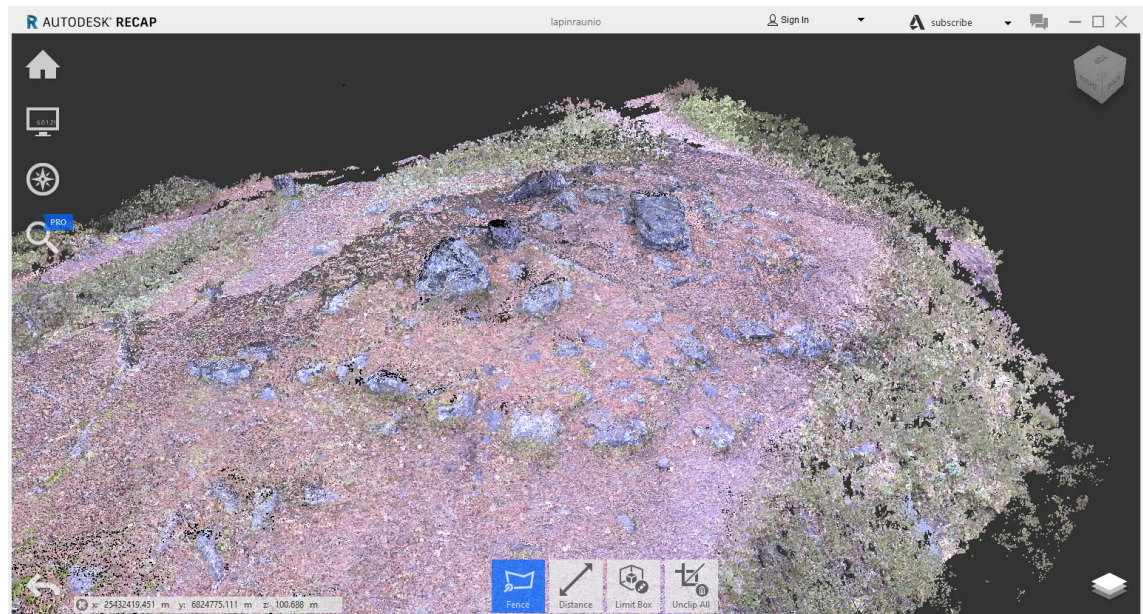
Maastotietokoneelta valittiin kartoitusmenetelmäksi laserkeilaus. Kojeessa sijaitsee kamera, jonka kuvaa pystyy seuraamaan maastotietokoneelta. Tätä pystyy käyttämään avuksi, kun suunnitellaan laserkeilauksen aluetta. Vaihtoehtona täydelle kartoitukselle, eli sille, että kone skannaa ympäriltä kaiken muun, paitsi kohtisuoraan alapuolelta, on aluerajaus. Maastotietokoneella voidaan siis rajata mitattava alue. Tätä menetelmää käytettiin tässä kohteessa, sillä mitattavana kohteena oli vain lapinraunio. Lapinraunio näkyi kameralla niin hyvin, että aluerajauksella saatiin vähennettyä ympäröivää turhaa dataa ja sen myötä säästettyä aikaa. Yksi skannausasema (Kuvio 13) vei aluerajauksesta riippuen noin kolmesta minuutista seitsemään. Skannausasemia merkattiin yhteensä seitsemän. Yksi työsuoritus tarkoitti sitä, että kojeelle määrättiin apupisteiden avulla sijainti sekä alue, jota skannataan.



Kuvio 13. Rasiatasaimen ja elektronisen tasaimen avulla koje saadaan mittauskuntoon

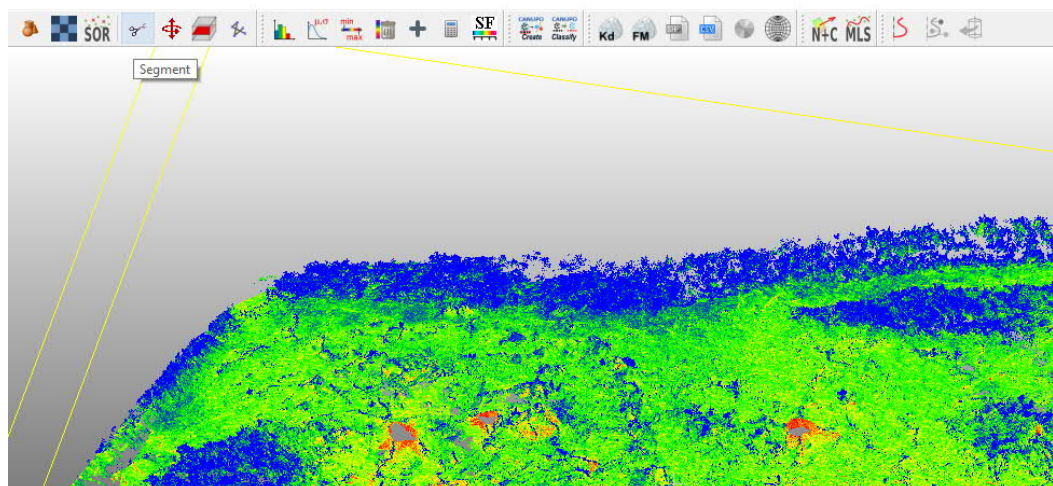
5.2.3 Aineiston käsittely

Mittausaineistoa kertyi noin 8 600 000 pistettä. Koska laserkeilaimeissa oli myös takymetratoiminto, mitään pitkäkestoisia pistepilvien kohdistamisia toisiinsa ei tarvinnut tehdä. Aineisto oli pysynyt yhtenäisenä. Aineiston käsittelyssä käytettiin Autodeskin ReCap-ohjelmaa ja CloudCompare-ohjelmaa. Autodesk ReCap-ohjelma tunnisti .txt-formaatissa olleen pistepilviaineiston ja tunnisti valokuvien avulla todelliset värit käyttäen niitä aineistossa. (Kuvio 14). ReCap-ohjelman avulla tarkasteltiin myös, onko Reuharinniemen tutkimattoman lapinraunion kivien sijoittelussa pyritty yleisempään ympyrän muotoon vai säännöllisiin ja suoriin reunoihin.



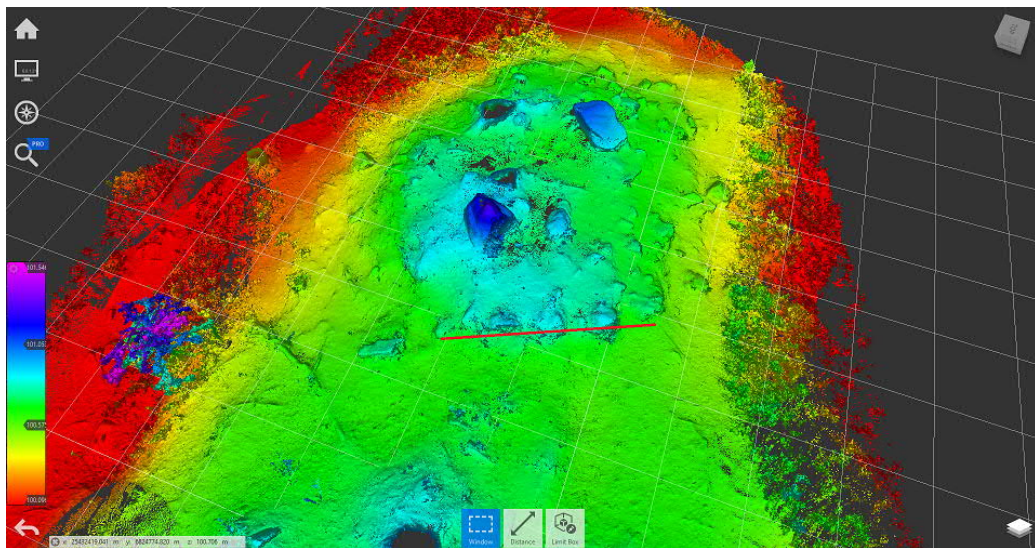
Kuvio 14. ReCap näyttää värit, kuin ne ovat oikeasti. Keskellä näkyy suora kivilinja

CloudCompare on erinomainen ohjelma pistepilven tarkempaankin harvennukseen. Ohjelmaa käytettiin segmentoimaan eli leikkaamaan tiettyjä palasia pois, jotka häiritsivät aineiston laatua (Kuvio 15). Sillä saatiin leikattua pois myös puut ja ylimääräiset pisteet, jotka häiritsivät korkeuserojen tulkinnessa sekä aineiston käsittelyssä. Mitä vähemmän aineistossa on pisteitä, sitä helpompaa sen käsitteleminen on. CloudCompare on myös hyvä, kun haluaa tallentaa tiedoston eri formaattiin. Pistepilvi on .xyz-muodossa, mutta ohjelman avulla sen saa helposti vaihdettua .las-muotoon. Nämä ovat varsin yleisiä tiedostomuotoja, kun halutaan käsitellä pistepilviä.



Kuvio 15. CloudCompare ja segmentointityökalu

ReCap-ohjelmassa selkeä pistepilvi sekä erinomainen värityksellä korkeutta kuvaava toiminto, jolloin ympäristön korkeuserojen tarkastelu on helppoa. Aineiston käsittelemisessä käytettiin väriominaisuutta ja kuvattiin punaisella alueen matalinta kohtaa ja sinisellä korkeinta kohtaa. Värieroja tarkastelemalla voitiin helposti tulkita, että miten kivet on aikanaan sijoitettu. Aineistoa tarkastelemalla voidaan myös tulkita, että mitään selvää, säännöllistä suorakulmaista muotoa ei ole havaittavissa. mutta mahdollisesti pyrkimystä suorakulmaisuuuteen. Aineistosta voitiin havaita yksi suora kivilinja, joka tosin havaittiin myös silmämääräisesti ennen skannausta (Kuvio 16).



Kuvio 16. Suora kivilinja piirretty Paint-ohjelmalla

5.3 Maatutkaus Museokeskus Vapriikissa

Kenttätöiden toinen osio koostui maatutkauksesta Museokeskus Vapriikin pihalla. Maatutkauksen tarkoituksena oli saada kokemusta arkeologin opastuksella ja oppia maatutkauksen periaatteen ja toimintatapa. Maakuntamuseolla on käytössään maatutkaukseen tarvittava laitteisto. Laitteistolla tarkoitetaan Zond 12 -maatutkaa, maastotietokonetta sekä siihen asennettua maatutkaukseen tarkoitettua Prism2-tietokoneohjelmaa.

Prism2-tietokoneohjelmisto tallettaa havainnot signaaleista sekä näyttää syvyyden ja kuljetun matkan. Nämä ovat oleellisia tietoja, mikäli jotain poikkeavaa löytyy. Tällöin se pystytään siis paikallistamaan. Prism2-ohjelmalla on

mahdollista käsitellä saatua aineistoa niin, että välitön maastosta saatu aineisto selkeytyy. Maastossa tallennetun aineiston kuviot ovat hieman karkeampia ja vaikeammin luettavissa, kuin jälkikäsiteltyyn.

Museon pihamaalla on sijainnut 1840-luvulla perustettu masuuni, joka sopi hyvin tutkimuskohteeksi. Arkeologi Vadim Adel oli jo aikaisemmin suorittanut alueen osittaisen maatutkauksen, eli kuljettanut maatutkaa seinälinjasta puolen metrin välein seinälinjan mukaisesti.



Kuvio 17. Maatutkauslinja Vapriikissa

Käytännön työnä tehtiin kelamitalla mittaukset seinälinjasta. Tutkauslinjoja tehtiin yhteensä neljä. Mittausten jälkeen aseteltiin linjaseipäät havainnollistamaan kävelysuuntaa (Kuvio 17).

Maatutkauksen aineistoa tarkasteltiin yhdessä arkeologin kanssa epävirallisesti. Aineistossa esiintyi muutamia anomalioita eli poikkeavuuksia, jotka voivat liittyä masuunin perustuksiin tai nuorempiin, 1800-luvun lopun/1900-luvun alkupuolen rakenteisiin. On myös mahdollista, että poikkeavuudet ovat nykyaikaisia putki- tai kaapelilinjoja.

Aineistoa ei otettu kuitenkaan jälkikäsitteilyyn, sillä tavoitteena oli oppia maatutkan käyttämistä arkeologisissa mittauksissa. Saatua aineistoa käytetään jatkossa osana Tampellan masuunin muinaisjäännösalueen maatutka-aineistoa tarkemmassa selvityksessä, onko alueella paikannettavissa teollisuushistoriallisia rakenteita, ja kyseisen tutkimusmenetelmän käytön kehittämisessä Pirkanmaalla.

6 POHDINTA

Opinnäytetyöni tavoitteena on selvittää maanmittaustekniikan hyödyt arkeologiassa sekä miten sitä hyödynnetään Suomessa. Tarkoituksena oli siis selvittää, miten eri tahot Suomessa hyödyntävät maanmittaustekniikkaa arkeologisissa tutkimuksissa. Kaksi tämän alan ehdotonta huippua, Muuritutkimus ja Nordic Maritime Group suostuivat haastatteluun. Museoviraston Arkeologisten kenttäpalveluiden haastattelu osoittautui tekstin rakentamisen kannalta erinomaiseksi yhteistyöksi. Lisäksi tarkoituksena oli antaa omia näkemyksiä, miten tekniikkaa voidaan mahdollisesti hyödyntää enemmän.

Oma kokemus ja varsinainen tietämys arkeologiasta tieteenalana ja miten maanmittaustekniikkaa käytetään arkeologisessa tutkimuksessa, on puutteellista. Siksi tämän kappaleen pohdinnoissa tukeudun aika pitkälti haastattelijoiden kommentteihin. Mitään universaalia ja ainoaa tapaa toteuttaa arkeologista tutkimusta maanmittaustekniikan avulla ei ole, sillä haastattelujen perusteella kaikki ovat sanoneet, että monilla arkeologeilla on omat tyykinsä ja omat suhtautumisensa maanmittaustekniisiin välineisiin. Tavallisimpien maanmittausvälineiden eli takymetrin ja GPS-laitteiston hyöty arkeologiassa on valtava ja kiistaton, vaikka eri tutkimuksissa käytetty mittauslaitteisto ja -tarkkuus voivat vaihdella vielä paljon. Maanmittaustekniikka nopeuttaa suurimmaksi osaksi työskentelyä niin kentällä kuin toimistollakin, mutta vaatii laitteiston hankkimista ja sen käytön opettelemista. Väisäsen mukaan, jos olosuhteet sallivat, eli tasaisella maalla ja pienellä alueella yksityiskohtaisia kohteita, on perinteinen piirtäminen mahdollisesti nopeampaa. Tarkka takymetryöskentely tarkoittaa tarkempaa ja nopeampaa jälkityötä, mutta kun dokumentoitavat kohteet saattavat vaihdella paljon, hyötyä tuskin voidaan aina mitata. Oleellista on muistaa, että kenttätyöt ovat keskeinen osa arkeologin työtä ja kuuluu arkeologiaa opettavan yliopiston opetuskokonaisuuteen. Hyötyjä saadaankin joka tapauksessa ennen kaikkea luotettavan tarkkuuden takia.

Kommunikointi eri organisaatioiden henkilöiden kanssa on kehittänyt minua ymmärtämään, miten arkeologia ja maanmittaustekniikka toisiaan auttaa. Lukuisat kommentit ja korjausehdotukset tähän työhön vahvisti omaa

ymmärtämistä tällä alalla, ja luotto tekstin oikeellisuuteen onkin näiden henkilöiden ansiosta vahva.

Opinnäytetyön avulla sain selville, mikä on maanmittaustekniikan nykytilanne arkeologisissa tutkimuksissa Suomessa, ja miten sitä hyödynnetään sekä miten sen potentiaali ymmärretään. Tilanne on varsin hyvä ja hyödyntäminen on monipuolista. Mitään uutta mullistavaa en pystynyt antamaan, mutta toisaalta sellaiseen en pyrkinytkään.

Maanmittauksen välineistö on oleellisena osana haastateltavia tahoja, sekä varmasti monia muitakin tahoja, jotka Suomessa operoi kyseisellä tutkimusalalla. Toki laserkeilainta jo käytetään jollakin tasolla käyttää myös muiden kuin pystysuorien asioiden dokumentointiin, kun puhutaan arkeologiasta. Kenttätöösio oli erinomainen oppimisympäristö niin itselle, apulaisille kuin maakuntamuseon henkilöstölle. Toivottavasti tästä saadaan tulevaisuudessa suunnannäyttäjää dokumentoinnissa ja tutkimuksessa. Museokeskus Vapriikin maatutkauksessa on itselleni jatkokehityksenä aineiston tutkiminen ja arkeologin tulkinnan saaminen.

Maanmittausalan ohjelmistoja on tarjolla useita. Itse mainitsin niistä tutuimmat ja itselleni helpoimmat käyttää. Tosiasiassa käyttäjä itse määrittelee, mikä on itselleen helppo ohjelmisto käyttää ja mihin on tottunut. Hän myös ymmärtää saamansa hyödyn parhaiten. Pistepilvien tarkasteluun on toki muitakin ohjelmistoja, ja aika lailla samankaltaisia työkaluja on näissä kaikissa. Korkeuden tarkastelua väreillä, parametrit pistepilvien yhdistämiseen, kasvuston poistamiseen kuten myös turhien pisteiden poistamiseen käsin leikkaamalla ovat jokaisessa ohjelmistossa, mitä olen käyttänyt. Maininnan, joita en esitellyt kummemmin, saa Faro SCENE ja FugroViewer. Quantum GIS on hyvin monipuolinen paikkatieto-ohjelma, jossa on integroituna Maanmittauslaitokselta saatavan korkeusmallin tarkasteluun tarkoitettut parametrit. Ohjelmisto on taipuva moneen muuhunkin asiaan, joten monimutkaisuudessaan siltäkin jäi oma kappale tekemättä. Toki siitä saatu hyöty tämän opinnäytetyön tekemisessä on kiistaton.

LÄHTEET

Adel, V. 2020. Pirkanmaan maakuntamuseo. Arkeologin haastattelu 14.02.2020.

Coppinger, J. 2019. Autodesk ReCap. Verkkojulkaisu. Viitattu 18.01.2020
<https://www.lifewire.com/autodesk-recap-485205>.

Helamaa, M. 2019. Muuritutkimus Oy. Arkeologin haastattelu 22.10.2019.

Helamaa, M. 2020a. Opinnäytetyö_osa2. Sähköposti
 markus.lehtonen@edu.lapinamk.fi 09.01.2020. Tulostettu 10.01.2020.

Helamaa, M. 2020b. Opparin esikatselu. Sähköposti
 markus.lehtonen@edu.lapinamk.fi 15.02.2020. Tulostettu 15.02.2020.

Huttunen, M. 2019. Nordic Maritime Group. Merigeologin haastattelu 24.10.2019.

Huttunen, M. 2020. Teistä koskeva kappale. Sähköposti
 markus.lehtonen@edu.lapinamk.fi 16.02.2020. Tulostettu 16.02.2020.

Hänninen, K. & Auer, O. 2015. Patorakenteiden tarkastusmenetelmät. VRT
 Finland Oy. Viitattu 02.11.2019
<https://www.ymparisto.fi/download/noname/%7B3B406F7F-2695-4F50-B90F-503881C2CB44%7D/114113>.

Introduction 2016. Tietoa CloudCompare-ohjelmasta. Viitattu 18.01.2020
<https://www.cloudcompare.org/doc/wiki/index.php?title=Introduction>.

Joala, V. 2006. Laserkeilauksen perusteita ja mittauksen suunnittelu.
 Verkkodokumentti. Viitattu 27.10.2019 <http://docplayer.fi/7209674-Laserkeilauksen-pe-rusteita-ja-mit-tauksen-suunnittelu.html>.

Jokinen, A. 2014. UAV-kuvaus kiviainesten kartoituksessa. Opinnäytetyö.
 Metropolia ammattikorkeakoulu.
 Viitattu 09.11.2019 https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/73860/Ari-Pekka_Jokinen.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Knuutinen, T. Muuritutkimus 2018. Frenckellin pannuhuoneen edustan
 kaupunkiarkeologinen maatutkaus. Viitattu 08.12.2019

<http://siiri.tampere.fi/displayObject.do?uri=http://www.profium.com/archive/Archi vedObject-71389C89-CE56-5572-5BE7-3B32D3D213D7>.

Laurila, P. 2012. Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet. Rovaniemen ammattikorkeakoulu.

Lepola, M. 2019. Museovirasto. Viitattu 08.12.2019

<https://www.museovirasto.fi/fi/ajankohtaista/kotkan-edustalta-loytyi-uusia-1700-luvun-lopun-hylkyja>.

MicaSense 2017. Archaeological Surveys With Drone Mapping. Viitattu 14.12.2019 <https://blog.micasense.com/archaeological-surveys-with-drone-mapping-563ac0329208>.

Museokeskus Vapriikki. Pirkanmaan maakuntamuseo. Viitattu 14.02.2020 <http://vapriikki.fi/maakuntamuseo/>.

Muukkonen, J. 2019. 3D-Win. Windows-ohjelmisto mitatun tiedon jatkokäsittelyyn. Verkkojulkaisu. Viitattu 31.12.2019 <http://www.3d-system.fi/index.php/3d-win>.

Pitts, M. 2015. Digging deeper. Verkkoblogi. Viitattu 07.12.2019 <https://mikepitts.wordpress.com/2015/08/01/a-short-blog-about-axe-blades-carved-onto-stonehenge-megaliths/>.

Puttonen, S. & Seitsonen, O. 2004. Arkeologin kartoitustyöt. Maankäyttölehti. Verkkojulkaisu. Viitattu 07.12.2019 http://www.maankaytto.fi/arkisto/mk204/mk204_86_puttonen.pdf.

Saari, M. 2015. Maaperä rakenteiden maatutkaus aapasuoalueen hydrologian selvittämiseksi. Diplomityö. Oulun yliopisto.

Viitattu 29.10.2019

<https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/149371/Suvinlopullinen.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Saipio, J. 2011. Lapinrauniotradition kehitys ajoitusten valossa. Muinaistutkija. Viitattu 01.02.2020 http://www.sarks.fi/mt/julkaisut_mt.html#2011.

Turunen, P. 1990. Metallinpaljastimet. Geologian tutkimuskeskus.
Arkistokappale luennosta. Viitattu 05.11.2019
http://tupa.gtk.fi/raportti/arkisto/q10_2_24_1_1990.pdf.

Väisänen, T. 2019. Maanmittausta ja arkeologiaa. Sähköposti
markus.lehtonen@edu.lapinamk.fi 18.11.2019. Tulostettu 20.11.2019.

Väisänen, T. 2020a. Maanmittausta ja arkeologiaa. Sähköposti
markus.lehtonen@edu.lapinamk.fi 07.01.2020. Tulostettu 12.01.2020.

Väisänen, T. 2020b. Opparin esikatselu. Sähköposti
markus.lehtonen@edu.lapinamk.fi 15.02.2020. Tulostettu 15.02.2020.

Wikman, E. 2010. Takymetri – Mittaustyökalu moneen käyttöön.
Maankäyttölehti. Verkkojulkaisu. Viitattu 12.10.2019
http://www.maankaytto.fi/arkisto/mk410/mk410_1416_wikman.pdf.

LIITTEET

Liite 1. Keilaintakymetri Trimble SX10 suorituskyky

MITTAUKSEN SUORITUSKYKY		
KULMAN MITTAUS		
	Sensorityyppi	Absoluuttinen enkooderi diametrisellä lukemalla
	Kulman mittaustarkkuus ¹	1" (0,3 mgon)
	Kulman näyttö (vähintään)	0,1" (0,01 mgon)
AUTOMAATTINEN TASAUKSEN KOMPENSAATTORI		
	Tyyppi	Keskistetty kaksisuuntainen
	Tarkkuus	0,5" (0,15 mgon)
	Kantama	±5,4" (±100 mgon)
	Elektroninen 2-suuntainen tasaus, resoluutio	0,3" (0,1 mgon)
	Rasistatoin pakkokeskityksessä	8/2 mm
ETÄISYYSMITTAUS		
Tarkkuus		
Prisma-tila	Vakio ²	1 mm + 1,5 ppm
	Seuranta ^{2,3}	2 mm + 1,5 ppm
DR-tila	Vakio ²	2 mm + 1,5 ppm
Mittausaika		
Prisma-tila	Vakio	1,6 s
DR-tila	Vakio	1,2 s
Kantama		
Prisma-tila ⁴	1 prismalla	1 m – 5 500 m
DR-tila	Kodak White Card (Catalog number E1527795)	1 m – 800 m
	Kodak Grey Card (Catalog number E1527795)	1 m – 450 m
Autolock- ja robottikantama		
	Autolock-kantama - jonomittaus 50 mm ⁵	1 m – 800 m
	Autolock-kantama - 360 prisma	1 m – 300 m ⁶ / 700 m ⁶
	Kulmatarkkuus ¹	1"
LASERKEILAUKSEN SUORITUSKYKY		
YLEISET LASERKEILAUSMÄÄRITYKSET		
	Laserkeilauksen toimintaperiaate	Viuhkan keilaus käyttäen kaukoputken pyörittäen prismaa
	Keilausnopeus	26,6 kHz
	Lasersäteen halkaisija	6,25 mm, 12,5 mm, 25 mm tai 50 mm @ 50 m
	Keilaimen näkökenttä	360° x 300°
	Karkea täysikeilaus; täysi kupoli - 360° x 300° (vaakakulma x pystyakseli) Keilausteho: 1 mrad, 50 mm @ 50 m	Keilausajan kesto: 12 minuuttia
	Vakio keilaus; Keilausalue - 90° x 45° (vaakakulma x pystyakseli) Keilausteho: 0,5 mrad, 25 mm @ 50 m	Keilausajan kesto: 6 minuuttia
ETÄISYYDEN MITTAUSPERIAATE		
	Etäisyyssmittarin toimintaperiaate	Ultranopea säteen kulkuajan perustuva (pulsseja), Trimble Lightning -teknologia
Kantama		
	Kodak White Card (Catalog number E1527795)	0,9 m – 600 m
	Kodak Gray Card (Catalog number E1527795)	0,9 m – 350 m
Etäisyyshavainnon kohina		
	@ 50 m 18–90% heijastuksella	1,5 mm
	@ 120 m 18–90% heijastuksella	1,5 mm
	@ 200 m 18–90% heijastuksella	1,5 mm
	@ 300 m 18–90% heijastuksella	2,5 mm
Keilaustarkkuus		
	Keilausajan kulmantarkkuus	5" (1,5 mgon)
	3D sijaintitarkkuus @ 100 m ⁶	2,5 mm